T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN GOJİ BERRY MEYVESİNİN BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ VE FENOLİK BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Büşra TURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Doç Dr. Salih KARASU

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN GOJİ BERRY MEYVESİNİN BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ VE FENOLİK BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Büşra TURAN tarafından hazırlanan tez çalışması 27.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Salih KARASU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Salih KARASU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Enes DERTLİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep BAKKALOĞLU, Üye
İstanbul Rumeli Üniversitesi _____

Danışmanım Doç Dr. Salih KARASU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı Kurutma Tekniklerinin Goji Berry Meyvesinin Biyoaktif Özellikleri Ve Fenolik Bileşimi Üzerine Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Büşra TURAN

İmza

Aileme

ve

sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca bana yol gösteren, her zaman akademiye teşvik eden, yardım ve desteğini esirgemeyen, çok değerli bilgi ve tecrübesi ile bu çalışmayı tamamlamamı sağlayan tez danışmanım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Salih KARASU' ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tecrübeleriyle çalışmama yön veren ve laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli Arş. Gör. Selma Kayacan Çakmakoğlu 'na bu süre zarfında destekleriyle beni yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarım Esra Akdeniz'e, Ali Beyaz'a ve Yağmur İyi Sezer'e,

Hayatım boyunca maddi, manevi fedakârlıklar yapan, aldığım tüm kararlarda yanımda olan ve beni destekleyen sevgili annem Neriman Turan'a ve babam Necmi Turan'a, her zaman kardeşiyle gurur duyan sevgili ablam Ayşe Turan'a ve tüm sevdiklerime içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Büşra TURAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 3

1.3 Hipotez 3

2 KAYNAK ÖZETLERİ 5

2.1 Goji Berry 5

2.1.1 Goji Berry Meyvesinin Bileşimi 7

2.2 Kurutma 10

2.2.1 Kuruma Eğrilerinin Özellikleri 11

2.3 Kurutma Yöntemleri 13

2.3.1 Sıcak Hava Kurutma (SHK) 13

2.3.2 Dondurarak Kurutma (DK) 14

2.3.3 Vakum Kurutma (VK) 17

2.3.4 Ultrases Destekli Vakum Kurutma 19

3 MATERYAL VE YÖNTEM 27

3.1 Malzeme 27

3.2 Yöntemler 27

3.2.1 Kurutma Prosedürü 27

3.2.2 Ekstraksiyon 29

3.2.3 Toplam Fenolik İçeriğinin Belirlenmesi 30

3.2.4 Antioksidan Kapasitesi Belirlenmesi 30

3.2.5 Fenolik Bileşenlerin Belirlenmesi 31

3.2.6 Renk Değerleri 31

3.2.7 İstatistiksel Analiz 32

4 BULGULAR VE TARTIŞMA 33
4.1 Kurutma Kinetiği 33
4.2 Taze ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Biyoaktif Özellikleri 38
4.3 Taze Ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Fenolik Bileşenleri 42
4.4 Taze Ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Renk Parametreleri 44
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 47
KAYNAKÇA 49
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 57

SİMGE LİSTESİ

ERH	Bağıl nem
L*	Beyazlık / koyuluk
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Tc	Çökme Sıcaklığı
Deff	Efektif nem difüzivitesi
a*	Kırmızılık / yeşillik
kHz	Kilohertz
kPa	Kilopascal
Xc	Kritik sıcaklık
C	Kroma
k	Kurutma hız sabiti
k	Kütle Transfer Katsayısı
L	Litre
mHz	Megahertz
m	Metre
µm	Mikrometre
mg	Miligram
mL	Mililitre
nm	Nanometre
r	Pearson katsayısı
R^2	Regresyon Katsayıları
s	Saniye
°C	Santigrat Derece
b*	Sarılık / mavilik
aw	Su aktivitesi
T	Suyun Üçlü noktası
ΔE	Toplam renk değişimi

KISALTMA LİSTESİ

AA	Antioksidan Kapasitesi
CUPRAC	Bakır(2) indirgeyici antioksidan kapasite
DM	Kuru Madde
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DK	Dondurarak Kurutma
GAE	Gallik asit eşdeğeri
HD	Sıcak Hava Kurutma
TE	Trolox eşdeğeri
TPC	Toplam Fenolik İçeriği
US	Ultrasonikasyon
USVK	Ultrases Destekli Vakum Kurutma
VK	Vakum Kurutma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kurutma Süresinin Zamana Göre Değişimi……11

Şekil 2.2 Kurutma Hızının Ürün Nem İçeriğiyle Değişimi……12

Şekil 2.3 Dondurarak Kurutucu Şematik Gösterimi……15

Şekil 2.4 Suyun Faz Diyagramı……17

Şekil 2.5 Vakum Kurutma Odası……18

Şekil 2.6 Ultrasonik Su Banyosunun Şematik Gösterimi……23

Şekil 2.7 Ultrasonik Prob Şematik Gösterimi……24

Şekil 2.8 Şematize Edilmiş Ultrases Destekli Vakum Kurutma Düzeneği……25

Şekil 4.1 Goji Berry Örneklerinin Kurutma Eğrileri……34

Şekil 4.2 Goji Berry Örneklerinin Etkili Nem Yayılımı (D_{eff}) Değerleri……38

Şekil 4.3 Taze Ve Farklı Yöntemlerle Kurutulmuş Goji Berry Meyveleri Görseli……45

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Gojiberry Örneklerinin Farklı Yöntemlerle Kurutulmasında Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi İçin Kullanılan İnce Tabaka Kurutma Kinetik Modelleri.....36

Tablo 4.2 Kurutma Model Katsayıları ve İstatistik Değerler.....37

Tablo 4.3 Taze Ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Biyoaktif Özellikleri.....41

Tablo 4.4 Taze ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Fenolik Bileşenleri (mg/g KM).....43

Tablo 4.5 Taze Ve Kurutulmuş Goji Meyvelerinin Renk Parametreleri.....46

ÖZET

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN GOJİ BERRY MEYVESİNİN BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ VE FENOLİK BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Büşra TURAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç Dr. Salih KARASU

Bu çalışmada, sıcak hava kurutma (SHK), ultrases destekli vakum kurutma (UVK), vakum kurutma (VK), dondurarak kurutma (DK) ve ultrases ön işlemli dondurarak kurutma (UDK) tekniklerinin Goji Berry meyvesinin kuruma süresi, toplam fenolik bileşen değeri, antioksidan kapasitesi, fenolik profili, renk değişimi üzerine etkisi araştırılmıştır. SHK, VK ve UVK teknikleri için kurutma işlemi 50°C de gerçekleştirilmiştir. Goji Berry meyvesinin kurutma süresi 275-1330 dakika arasında değişmiştir. UVK işlemi diğer iki kurutma yöntemine göre daha hızlı kuruma davranışı sergilemiştir. Toplam fenolik madde değeri taze örnek için 700 mg GAE /100g olarak tespit edilmiştir. Kuru örneklerin toplam fenolik değeri 1002,53-1217,00 mg GAE/100g arasında değişmiştir. Tüm kurutma yöntemleri için kurumuş örneklerin toplam fenolik madde değeri taze örneklerden daha fazla bulunmuştur. UVK işlemi diğer tüm kurutma yöntemlerine göre daha yüksek oranda toplam fenolik madde değeri sergilemiştir. Taze ve kurutulmuş örneklerin antioksidan kapasite değerleri DPPH ve CUPRAC yöntemleri ile belirlenmiştir. DPPH

ve CUPRAC değerleri sırasıyla 15,70-28,10 mgTE/100g ve 40,98-226,09 mgTE/100g arasında değişmiştir. Taze örneğin L*, a* ve b* renk değerleri sırasıyla 42,09, 29,77 ve 23,55 olarak tespit edilmiştir. Kurutma tekniklerinin meyvenin renk değişimi üzerine etkisini incelemek için toplam renk değişim indeksi değeri (ΔE) hesaplanmıştır. ΔE değeri 4,59-23,93 arasında değişirken SHK tekniği için daha yüksek oranda bulunmuştur. Farklı kurutma tekniklerinin fenolik profili üzerine etkileri de önemli bulunmuştur. SHK ile kurutulan örneklerin fenolik bileşiklerinin degredasyonu diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları farklı kurutma yöntemlerinin Goji Berry meyvesinin kurutma hızı ve biyoaktif bileşen miktarını önemli derecede etkilediği ve daha az biyoaktif madde degredasyonu için SHK yöntemine alternatif olarak UVK yönteminin kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Goji berry, kurutma, fenolik madde, antioksidan kapasite.

ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENT DRYING TECHNIQUES ON BIOACTIVE PROPERTIES AND PHENOLIC COMPOSITION OF GOJI BERRY FRUITS

Büşra TURAN

Department of Food Engineering

Master Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Salih KARASU

In this study, the effect of different drying methods namely, hot air drying (HAD), ultrasound-assisted vacuum drying (UAVD), vacuum drying (VD), freeze-drying (FD), and ultrasound-assisted freeze drying on the drying time, total phenolic content, antioxidant capacity, phenolic profile and color change of Goji Berry fruit were investigated. The drying process for HAD, VD, and UAVD techniques was carried out at 50°C. The drying time of Goji Berry fruit varied between 275-1330 minutes. UAVD treatment showed faster-drying behavior than the other two drying methods. The total phenolic content value was determined as 700 mg GAE /100g for the fresh sample. The total phenolic content value of dry samples varied between 1002.53-1217.00 mg GAE/100g. For all drying methods, the total phenolic content of the dried samples was higher than the fresh samples. UAVD treatment exhibited a higher total phenolic content value than all other drying methods. Antioxidant capacity values of fresh and dried samples were determined by DPPH and CUPRAC methods. DPPH and CUPRAC values varied between 15.70-28.10 mg TE/100g and 40.98-226.09 mg TE/100g, respectively. The L*, a*, and b* color values of the fresh

sample were determined as 42.09, 29.77, and 23.55, respectively. The total color change index value (ΔE) was calculated to examine the effect of drying techniques on the color change of the fruit. While the ΔE value ranged between 4.59 and 23.93, it was found to be higher for the HAD technique. The effects of different drying techniques on the phenolic profile were also found to be significant. The degradation of phenolic compounds in the samples dried with HAD was higher than in the other drying methods. The results of this study showed that different drying methods significantly affected the drying rate and amount of bioactive components of Goji Berry fruit, and the UAVD method can be used as an alternative to the HAD method for less bioactive compound degredation.

Keywords: Goji berry, drying, phenolic compounds, antioxidant capacity.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Goji berry veya wolfberries (kurt üzümü) olarak bilinen *Solanaceae* familyasına ait *Lycium barbarum L.*'nin meyveleri tatlı ve keskin bir tada sahiptir. Elips şeklinde turuncu-kırmızı renkte yaklaşık 2 cm boyutunda meyveler verir (Kulczyński ve Gramza-Michałowska, 2016).Goji berry içeriğindeki fenolikler, karotenoidler ve polisakaritler gibi mikro besinler ve fitokimyasallar bakımından zengin olması sebebiyle antioksidan , bağışıklık arttırıcı ve antikanserojenik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Dermesonlouoglou vd., 2018). Gün geçtikçe tüketicilerin yiyecek alışkanlıklarının değişmesi ile tüketim çeşitliliği giderek artmaktadır. Goji berry meyvelerinin son yıllarda popülerliği artarken bu meyvenin besin değerleri, antioksidan özelliği ve sağlığa faydalı etkileri de daha popüler hale getirmiştir (Potterat, 2010). Goji berry meyvesi 2500 yıldır geleneksel Çin tıbbında ilaç olarak kullanılmaktadır.Goji berry meyvesi genel olarak kurutularak, bitki çayı olarak, et ve vejetaryan ürünlerine ilave edilerek tüketilmektedir. Aynı zamanda meyve suyu, tonik ve şarap üretiminde de kullanılır (Donno vd., 2015). Goji berry'nin kimyasal bileşenlerine bakıldığında polisakkarit kompleksleri en çok bilinenidir. İçerdiği karotenoidler ve fenolik bileşikler sayesinde oldukça yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir. Sahip olduğu kırmızı-turuncu rengini lipofilik bileşenler grubu olan karotenoidlerden gelmektedir. Aynı zamanda goji berry meyvesi, antioksidan özelliği olan lignan, flavanoidler ve tanenleri içerir (Lee ve Chen, 2002).

Beslenmenin sağlık açısından önemine dair tüketicinin bilinçlenmesiyle beraber antioksidan içeriği yüksek gıdalaların tüketimine yönelim artmıştır. Bu sebeple insan sağlığı üzerine faydalı olan biyoaktif bileşenlerin korunmasına yönelik yeni işleme yöntemlerine olan ilgi artmıştır (Baysal vd., 2000).

Yüksek nem ve şeker içeriğine sahip meyveler, mikroorganizmalar ve enzim aktivitesi sebebiyle kolay bozulabilen ürünlerdir. Bu nedenle her mevsim tüketilebilmesi amacıyla çeşitli muhafaza yöntemleri uygulanmaktadır. Kurutma, meyve ve sebzelere uygulanan en yaygın gıda muhafaza yöntemlerinden birisidir.

Kurutulan ürünlerin doğru ambalajlama ile oldukça uzun raf ömrüne sahip olmaları ve diğer muhafaza yöntemleriyle üretilen gıda ürünlerine kıyasla daha düşük işleme, nakliye ve depolama maliyetlerine sahip olması yaygın kullanılan yöntem olmasının sebeplerindendir (Ertekin ve Yaldız, 2010)

Gelişen teknolojiyle beraber kurutma işleminin kontrollü bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak için güneşte kurutma gibi geleneksel yöntemler yerini endüstriyel yöntemlere bırakmaya başlamıştır. Sıcak hava ile kurutma (SHK), kolay uygulanması ve düşük işletme maliyeti sebebiyle en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Ancak yüksek sıcaklık, uzun kuruma süresi, kurutulan gıdanın kalite ve duyusal özelliklerini olumsuz etkilemesi ve biyoaktif bileşen kaybının yüksek olması sebebiyle farklı kurutma teknikleri araştırılmaktadır (Wojdylo vd., 2016). Bu sebeple düşük sıcaklıklarda uygulanan bir yöntem olması sebebi ile dondurarak kurutma yöntemi (DK) en çok incelenen yöntemlerden biridir. Dondurarak kurutma, gıdalarda duyusal, yapısal ve biyoaktif bileşenleri koruması sebebiyle kaliteli son ürün sağlar (Wojdylo vd., 2016). Ancak yüksek işleme maliyeti sebebiyle endüstriyel kullanımı oldukça sınırlıdır (Huang vd., 2009). Bu sebeple uygulanması kolay, maliyeti düşük ve aynı zamanda kaliteli ürünler sağlayan alternatif yöntemler araştırılmaktadır.

Vakum kurutma (VK), sıcak hava kurutmasının sebep olduğu olumsuzlukların üstesinden gelmek için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Vakum kurutma sayesinde gıda içeriğindeki su, düşük basınç uygulanarak daha düşük sıcaklıklarda buharlaşma gerçekleştirilir (Menon vd., 2020). Kurutma sırasında buhar basıncının düşmesi ile kurutma süresi kısaltılır ve düşük sıcaklıklarda uygulanma olanağı sağlar (Huang vd., 2009). Vakum kurutmanın oksijensiz ortamda gerçekleşmesi de fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşenlerin korunmasını sağlar (Karaaslan vd., 2014).

Ultrases, kurutma yöntemlerinde kurutma verimini arttırmak amacıyla kullanılan bir ön işlemdir. Gıdanın sıcaklığında büyük bir değişikliğe sebep olmadan kurutma hızını arttıran ısıl olmayan bir yöntemdir (Cohen ve Yang, 1995). Ultrasesdalgalarının etkisi ile meydana gelen kavitasyon ve sünger etkisi, gıdaların

mikro yapısal özelliklerini iyileştirebilmektedir. Bu sebeple ultrases ön işlemli kurutma yöntemlerine olan ilgi artmıştır (Chen vd., 2020).

Kurutma işlemi uygulanan gıdalarda, renk, duyusal özellikler, mikro yapısal ve dokusal özellikler ve biyoaktif bileşen içeriği önemli ölçüde değişikliğe uğramaktadır. Bu değişimleri en aza indirmek için çeşitli kurutma yöntemleri ve sıcaklıkları üzerine araştırmalar yapılmıştır (Süfer ve Palazoğlu, 2019). Bu tez çalışmasında, farklı kurutma yöntemleri kullanılarak Goji berry meyvesinin kuruma süresi, toplam fenolik bileşen değeri, antioksidan kapasitesi, fenolik profili, renk değişimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Goji berry kırmızı dutsu meyve olduğu için biyoaktif bileşenler bakımından oldukça zengindir ancak hasat süresi kısadır. Bu nedenle hasat edildikten sonra muhafaza yöntemleri uygulanması hasat zamanı dışında da tüketimine olanak sağlamaktadır. En yaygın yöntemlerden biri olan sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin biyoaktif bileşen ve renk kayıplarının fazla olmasından dolayı başka yöntemlerde tercih edilmektedir. Bu çalışmada Goji berry meyvesi vakum kurutma, ultrases destekli vakum kurutma, dondurarak kurutma ve ultrases destekli dondurarak kurutma gibi alternatif kurutma yöntemleri ve bu yöntemlere ek olarak uygulanan ön işlemler uygulanarak bu meyve için en verimli kurutma yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Daha önceden bu yöntemler kullanılarak Goji berry meyvesinde kurutma sonucunda kurutma sürelerindeki, biyoaktif toplam fenolik bileşenlerdeki, antioksidan kapasitesindeki, fenolik bileşenlerdeki, renk parametrelerindeki değişim üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma ile literatüre katkı yapılması sağlanacaktır.

1.3 Hipotez

Gojiberry biyoaktif bileşence zengin bir meyve olup son yıllarda Gojiberry ile yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Hasat zamanı kısıtlı olan bu tarz meyvelerin muhafazası için kurutma iyi bir yöntemdir. Ancak, yeni kurutma sistemlerinin geliştirilmesine ve var olanların iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıcak hava ile kurutma çok yaygın olarak kullanılan bir kurutma çeşidi olmasına rağmen

kurutma sürelerinin uzun saatler sürmesi ve biyoaktif bileşen kayıplarının yüksek olması vb. dezavantajları vardır. Bu yüzden alternatif kurutma yöntemleri ile çalışmalara ihtiyaç vardır. Vakum kurutma, vakum altında ve düşük sıcaklıklarda etkin kurutma sağlayabildiği için tercih edilebilir. Bu yöntemin eksikliklerini gidermek amacıyla ultrases ön işlemi ile desteklenmesi gıdanın içerisindeki suyun mikrokanallar oluşturularak daha kolay çıkışını sağlamak için tercih edilebilir. Ultrases destekli vakum kurutma ile daha düşük sürede daha verimli kurutma olacağı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Diğer bir kurutma çeşidi olan dondurarak kurutma yönteminde gıda içerisindeki su süblimasyon yoluyla düşük sıcaklık ve vakum altında uzaklaştırılır. Bu kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin rengi ve biyoaktif bileşenleri diğer yöntemlerle kıyasla daha iyi korunmaktadır. Bu kurutma çeşitlerinin sıcak hava ile kurutma yöntemine kıyasla kalite parametrelerinin daha iyi korunacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın en önemli amacı olan Goji berry meyvelerinin daha az toplam fenolik madde ve fenolik bileşen kayıbı ve daha yüksek antioksidan kapasiteyi sağlayan düşük kurutma süresine sahip ve ekonomik olan yöntemin belirlenmesi için kurutma süresi bakımından ise en verimli metodun ultrases destekli vakum kurutma olacağı ve en az biyokatif bileşen kaybının dondurularak kurutma olacağı ancak dondurularak kurutmanın uzun kurutma sürelerinden ve yüksek kurulum maliyetinden dolayı ekonomik açıdan dezavantajlı olduğu düşünülmektedir.

2

KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Goji Berry

Goji berry veya wolfberries (kurt üzümü) olarak bilinen *Solanaceae* familyasına ait *Lycium barbarum L.*'nin meyveleri, Çin geleneksel tıbbında yüzyıllardır kullanılmaktadır. Lycium barbarum Çin, Tibet ve Asya'nın diğer bölgelerinde yetişir (Niro vd., 2017). Goji berry, tatlı ve keskin bir tada sahip olup, elips şeklinde turuncu-kırmızı renkte yaklaşık 2 cm boyutunda meyveler verir. Goji berry, *Solanaceae* familyasındaki *L. barbarum* ve *L. chinense*'nin meyvesidir. 1753'te Carl Linnaeus tür adını *L. barbarum* olarak adlandırmıştır. 15 yıl sonra Philip Miller *L. Chinese* olarak adlandırmıştır (Kulczyński ve Gramza-Michałowska, 2016).

Bitkiler ve meyveler çok çeşitli biyolojik aktif ikincil metabolitler içerir. Bunun sonucunda antioksidan, anti inflamatuar ve antimikrobiyal özelliklerinden dolayı ilaçların, besin takviyelerinin ve fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde kullanılmıştır (Skenderidis vd., 2019). Goji berry fenolikler, karotenoidler ve polisakaritler gibi mikro besinler ve fitokimyasallar bakımından zengin olması sebebiyle yapılan çalışmalar goji berry tüketiminin antioksidan , bağışıklık arttırıcı ve antikanserojenik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Dermesonlouoglou vd., 2018). Molekül ağırlığı 8-214 kDa olan çok dallı L. barbarum Polisakkaritlerinin (LBP) suda çözünür formunda bulunurlar ve meyvelerin toplam kuru maddesinin %5-8'ini oluştururlar. Bileşimleri altı tip monosakkarit: arabinoz, ramnoz, ksiloz, mannoz, galaktoz, glukoz, galakturonik asit ve on sekiz amino asit içerir. Goji berry meyveleri, en yüksek oranda prolin olmak üzere, %1.0-2.7 serbest amino asit içerir aynı zamanda taurin ve betain varlığı da doğrulanmıştır . Bunlara ek olarak tiamin, riboflavin gibi vitaminler ve glukozidik öncülü (2-O-β-D-glukopiranozil) ile askorbik asit de içermektedir (Kulczyński ve Gramza-Michałowska, 2016). Karotenoidler, biyolojik olarak aktif bileşiklerin önemli bir grubudur ve birçok gıdanın renginden sorumlu, sağlığa faydalı etkilere sahiptir. Karotenoidler meyvelerde, sebzelerde ve çiçeklerde serbest veya ester formunda bulunabilir. Lutein, β-kriptoksantin,

zeaksantin ve violaksantin, meyve ve sebzelerde esterleşmiş formlarda bulunan en sık ksantofiller arasında yer alır (Fratianni vd., 2018).

Besin açısından, goji berry meyveleri bir diyet lifi, C vitamini ve potasyum, bakır, manganez, demir ve çinko dahil olmak üzere bazı mineraller sunar (Vidovic vd., 2022). Fenilpropanoidler, çok yüksek antioksidan kapasiteye sahip biyoaktif bileşiklerdir. Farklı şifalı Çin bitkilerinde antioksidan aktivite ve fenilpropanoidlerin analizi, Goji berry'de bu bileşenlerin varlığını 22.7 mg (gallik asit eşdeğeri/g özü) seviyesinde doğrulamıştır (Kulczyński ve Gramza-Michałowska, 2016).

Goji berry meyveleri fonksiyonel doğal bileşenler arasında suda çözünür glikokonjugatlar olan L. barbarum polisakkaritleri (LPB) içerir ve en çok araştırılan bileşenlerdir . LBP'ye ek olarak, Goji berry meyveleri ayrıca, zeaksantin dipalmitatın baskın bileşen olduğu karotenoidler (toplam karotenoidlerin %55.44'ü) ve ayrıca kafeik asit, klorojenik asit, p-kumarik asit, kersetin ve kaempferol içeren polifenoller içerir. Serbest yağ asitleri ve lipit kompleksleri, büyük miktarlarda ATP ürettikleri ve metabolizma için hücreler içinde kimyasal enerji taşıdıkları için tüm zarların temel bileşenleri, gen modülatörleri ve önemli enerji kaynakları olarak metabolizmada kilit rollere sahiptir (Skenderidis vd., 2019). Goji berry meyvelerinin birincil yağ asitleri linoleik asittir, bunu oleik, palmitik ve stearik asitler izler (toplam yağ asitlerinin yaklaşık %95'i) (Vidovic vd., 2022)

Çin'de uzun bir geçmişe sahip olan Lycium türleri, ilaç ve fonksiyonel gıda olarak kullanıldıkları için Geleneksel Çin Farmakopesi'nde de anılmaktadır Asya'da geleneksel tıpta uzun süredir kullanılmakta olan Goji berry meyvesi son yıllarda besin değeri, bazı farmakolojik aktiviteleri ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle başta Avrupa ve Kuzey Amerika olmak üzere birçok toplulukta yaygın hale gelmiştir (Ağagündüz vd., 2021).

Tamamen olgun taze goji berry meyveleri, parlak kırmızı renkli ve sulu bir tada sahiptir. Goji berry meyveleri çoğunlukla kurutulmuş olarak tüketilir. Kuru halde tüketilen hazır ve derin işlenmiş goji berry meyveleri göz önüne alındığında kalite indekslerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Kurutulmuş goji berry meyvelerinin kalitesi genellikle görünüm, lezzet, doku, temizlik ve besin değerleri açısından değerlendirilir. Tür farklılıkları, hasat koşulları ve bazı bireysel tercihlerin yanı sıra,

kurutulmuş goji berry meyvelerinin kalitesi, tüketim öncesi kurutma prosesi ve depolama şartlarından oldukça etkilenir. Tekstür kurutma yöntemine ve üründeki nihai nem içeriğine bağlıdır; renk, lezzet ve besin değerleri, taze goji berry meyvelerinin durumu ve kurutma parametrelerinden etkilenebilir (Cui vd., 2022).

Geleneksel olarak güneşte veya sıcak havada kurutulurlar. Kurutma, suyu uzaklaştırmak için bir bariyer görevi gören mumsu bir tabaka ile kaplanmış goji berry kabuğunun yapısı nedeniyle yavaş ve enerji yoğun bir işlemdir. Suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak ve sonuç olarak kuruma süresini azaltmak için (üzüm, erik, kuru erik ve goji berry meyvelerinde) kurutmadan önce kimyasal ve fiziksel soyma ön işlemleri düşünülür (Dermesonlouoglou vd., 2018). Son zamanlarda, artan tüketici bilinci ve kurutma tesislerindeki ilerleme birlikte pazar talebi, araştırmacılara bir dizi yeni kurutma yöntemi ve goji berry ürünleri geliştirme fırsatları sunmaktadır. Vakumlu dondurarak kurutma ve ısı pompalı kurutma gibi bazı gelişmiş kurutma yöntemleri, goji berry'nin daha düşük sıcaklık, daha kısa kuruma süresi, daha az enerji yoğun ve daha iyi ürün kararlılığı ile kurutulması için çalışmalar başlamıştır (Cui vd., 2022). Bu sebeple bu tezin amacı farklı kurutma yöntemlerinde goji berry meyvesinin biyoaktif bileşenlerin ve fenolik bileşimi üzerine etkisi incelemektir.

2.1.1 Goji Berry Meyvesinin Bileşimi

- **Su**

Goji berry meyvesinin yetiştirilme şartlarına ve türüne göre içerdiği su oranı değişklik göstermektedir. Taze goji berry meyvesinin su miktarı %75-80 aralığındadır (Niro vd., 2017).

- **Polisakkaritler**

Kurutulmuş goji berry meyvesinin %3-8 oranlarında polisakkarit içerdiği bilinmektedir ve polisakkaritler goji berry meyvesinin kantitatif olarak en önemli madde grubunu temsil eder (Amagase ve Farnsworth, 2011). Goji berry meyvesi çeşitlerinden 30'dan fazla polisakkarit tespit edilmiştir. *Lycium barbarum L*. kısmi karakterize olmuş ve yüksek dallanmış polisakkarit ve proteglikanların kompleks karışımından oluşur (Cheng vd., 2005).

Aynı zamanda polipeptit, asitli heteropolisakkarit ve glikoproteinleri yapısında bulunduran proteinlerin yanı sıra yüksek miktarda ksiloz ve glukoz içerirken düşük miktarda galaktoz, ksiloz, mannoz ve ramnoz içermektedir (Hu vd., 2019).

- **Fenolik Bileşenler**

Fenolik bileşenler, bitkilerde bulunan tokoferoller, probiyotikler, omega-3 yağ asitleri, diyet lifleri, karotenoidler ve fitosteroller, gibi biyoaktif maddelerden oluşan geniş bir grubun üyesidirler ve bitkilerde doğal olarak oluşan ve besleyici değeri olmayan, bitkilerin sekonder metabolitleridir (Randhir vd., 2004). Bitkilerin meyve, sebze, çiçek, tohum, gövde, dal ve yapraklarında bulunabilmektedir. Fenolik bileşenlerin bazıları meyve ve sebzelerde tat bileşenlerinin oluşmasından (acılık, burukluk) bazıları ise renklerin oluşumudan (sarı, turuncu, kırmızı-mavi) sorumludur. Aynı zamanda antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde insan sağlığına faydalı etkileri bulunmaktadır (Nizamlıoğlu ve Nas, 2010).

Fenolik bileşikler, çözünür (serbest veya yağ asitlerine esterlenmiş) veya çözünmez (kovalent olarak proteinlere, selüloza, pektine vd. bağlı) formda bulunabilirler. En az bir aromatik halkadan oluşan ve bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren yapıya sahiptirler. Hidroksil grubunun sayısına, konumuna ve dağılımına bağlı olarak antioksidan aktiviteleri değişmektedir (De Oliveira vd., 2020). Fenoliklerin antioksidan davranışı, hidroksil gruplarında bulunan hidrojen atomunu vermesiyle serbest radikaller yakalama yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Molekülde bulunan hidroksil gruplarının sayısının fazla olması, antioksidan etkisini de arttırmaktadır. Aynı zamanda metal şalatlayıcısı olarak da etki etmektedir (Galanakis M.C., 2017). Ayrıca, yapısal özelliklerine bağlı olarak fenolik bileşenler, farklı etkilere ve özelliklere sahip alt sınıflara ayrılmaktadır. Bunlara örnek olarak flavonoller, antosiyaninler, fenolik asitler, hidrolize edilebilir tanenler ve proantosiyanidinler gösterilebilir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

Goji berry meyvesinde klorojenik asit, kuersetin, rutin, kafeik asit ve p-kumarik asit tanımlanan fenolik bileşenlerdir. Yapılan çalışmalarda goji berry meryvesi içeriğinde toplam 15 fenolik asit ve 37 flavonoid tanımlanmıştır (C. C. Wang vd., 2010).

- **Karotenoidler**

Karotenoidler, sınırsız fonksiyona ve yapısal çeşitliliğe sahip ve doğada yaygın olarak bulunan doğal pigment grubudur. 600 farklı türü bulunan karotenoidler, bitkiler, bakteriler, küf mantarları ve arkeler tarafından biyosentez yoluyla meydana gelmektedir. Karotenoidlerin 50 türü günlük diyette yer alırken 12 türü ise insan kan ve dokularında ölçülebilir miktarlarda bulunmaktadır (Umeno ve Arnold, 2003).

Isıl işlemin karotenoidler üzerindeki etkilerinin araştırılması sonucu, ısıl işlem uygulamasının karotenoid konsantrasyonunu ve provitamin A miktarını arttırdığını göstermiştir. Meyve ve sebzelerdeki karotenoidler ısıl işleme (pişirme) karşı dayanıklıdır. Ayrıca, proteinler ve bazı bileşikler ile kompleks halde bulunduğundan doğal hallerinde de oksidasyondan korunabilmektedir. Karotenoid içeren gıdalar pişirildiğinde proteinler denatürasyona uğrar ve hücre duvarı yapısı bozulur. Böylece karotenoidlerin ekstraktı daha kolay gerçekleşerek biyoyararlılığı artar (Hart ve Scott, 1995).

Karotenoidler β-karoten, α-karoten, β-kriptoksantin, α-kriptoksantin, lutein, violaksantin, zeaksantin, neoksantin ve likopen olarak kırmızı, turuncu ve sarı renkli meyve ve sebzelerde bulunmaktadır. Yeşil yapraklı sebzeler de klorofil pigmentinden dolayı karotenoidlerin rengi maskelense de karotenoid içermektedirler (Elbe vd., 1996). Sağlık açısından birçok önemli fonksiyona sahip olan karotenoidlerin, provitamin A aktivitesi olması en önemli özelliğidir. Provitamin A içeren karotenoidler kanser, görme bozukluğu ve kalp rahatsızlıkları gibi birçok hastalığı önlemektedir (Oliver ve Palou, 2000).

Goji berry meyvesinin ana karotenoidi zeaksantindir. İçerdiği karotenoid kompozisyonu incelendiğinde zeaksantin, violaksantin, neoksantin, lutein, β-karoten ve β-kriptoksantin karotenoidleri tanımlanmıştır (C. C. Wang vd., 2010). Meyvenin yeşil halinde ise violaksantin, antraksantin, lutein, neoksantin ve β karoten karotenoidleri bulunmaktadır. Meyvenin kloroplastlarındaki lokalizasyonundan kaynaklı olarak goji berry meyvesinin yeşil hali ve olgun halinin karotenoid kompozisyonu benzerlik göstermektedir (Britton, 1995).

- **Flavonoidler**

Gıdalarda en yaygın olarak bulunan polifenoller flavonoidlerdir. Genellikle glikozid formunda çiçek, yaprak, kök ve dallarda bulunur. Antioksidan etkileriyle beraber enzim inhibitörü olarak da etkileri vardır. Yaklaşık 6500 çeşit flavonoid olduğu bilinmektedir. Yapılarında bulunan iki aromatik halka arasındaki bağ türüne göre altı gruba sınıflandırılır. Bunlar; antosiyanidinler, flavanoller, flavonlar, flavanonlar, flavonoller ve izoflavonlardır (Belitz vd., 2009).

2.2 Kurutma

Gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan gıdaların kurutulması ilk çağlardan günümüze kadar devam eden en eski yöntemdir (Cemeroğlu B., 1986). Gıdalar yüksek su aktivitesine sahiptir. Bu nedenle depolama sırasında kimyasal ve mikrobiyolojik bozulma gerçekleşebilmektedir (Başlar vd., 2014). Ürünlerin kalitesinde ve besin değerlerinde kayıpların ve istenmeyen değişimlerin önlenmesi için gıda muhafaza yöntemleri oldukça önemlidir. Bu sebeple gıdaya ve gıdanın özelliklerine en uygun muhafaza yöntemi seçilmelidir (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Kurutma metodu ile gıdanın su aktivitesi düşürülür ve bozulmaya sebep olan mikrobiyal ve kimyasal reaksiyonlar durdurulur veya yavaşlatılır (Ratti, 2001). Meyvelerin mevsimsel olarak üretilmesi ve kısa raf örüne sahip olmaları sebebiyle her mevsim tüketilebilmesi için farklı şekillerde muhafaza edilmesi gerekir (Badwaik vd., 2014). Hasatın ardından ürünlerin nem içeriği belirli bir değere indirilerek küf ve bakteri gelişimi engellenmelidir. Kurutma ile raf ömrü uzar gıdaların mikrobiyal açıdan güvenliği sağlanır. Bu güvenliği garanti eden su aktivitesi (aw) değeri 0,6'nın altındadır. Aynı zamanda ürün hacmi azaltılır ve paketleme, depolama ve taşıma maliyetleri düşürülür (Gao vd., 2012). Endüstriyel olarak taze ürünün özelliklerine en yakın muhafazayı sağlayan yöntem tercih edilmektedir (Badwaik vd., 2014).

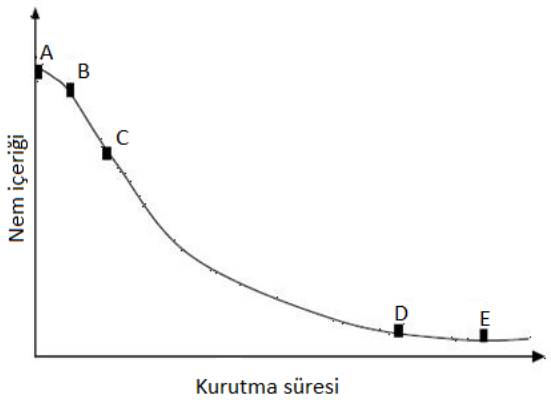
Ürünlerin kurutulmasında farklı boyutlar ve şekiller tercih edilebilmektedir. Taneli meyveler (üzüm, erik, kayısı gibi) genellikle bütün olarak kurutulurken hacimce büyük olan meyveler (papaya, kivi, mango gibi) dilimlenerek kurutulabilir. Meyve veya sebzeler güneşte veya modern kurutma yöntemleriyle kurutularak yüksek

nem içeriği düşürülür (Badwaik vd., 2014).Kurutma yöntemleri , kurutma sırasında ısının taşınımına göre konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon olarak sınıflandırabilir (Cemeroğlu B., 1986).

Gıdaların yüksek sıcaklıklarda kurutulması ürün kalitesinin bozulmasına sebep olur. Bu sebeple ısıl işlem kaynaklı kalite kayıplarının azaltılması için düşük kurutma sıcaklığı uygulanmalıdır. Bununla birlikte kurutma süresinin uzaması ve oksidasyon reaksiyonları ürünün kalite kaybına yol açmaktadır (Rodríguez vd., 2015).

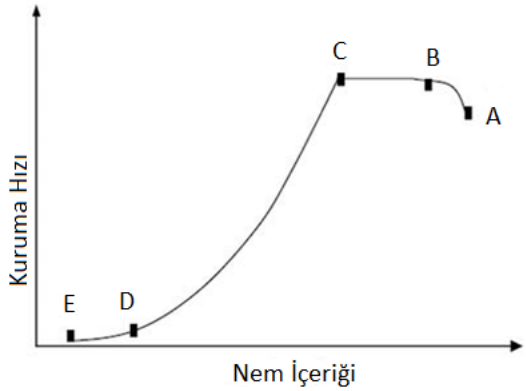
2.2.1 Kuruma Eğrilerinin Özellikleri

Kurutma süresi boyunca nem içeriğinin veya kuruma hızının zamanla değişimini gösteren eğriler kuruma eğrileri olarak adlandırılmaktadır **(Şekil 2.1).**Kurutma süresince gıdanın nem içeriği azalır ve belli bir seviyeden sonra sabitlenmektedir. Kurutmanın başlarında kurutma hızı yüksek iken sonrasında azalmaktadır. Kurutmanın hızı ürünün şekline, boyutuna ve miktarına bağlıdır. Aynı zamanda kurutma havasının sıcaklığına, hızına ve nem değerine göre değişmektedir (Demirtaş vd., 1998).



Şekil 2.1 Kurutma süresinin zamana göre değişimi (Aktaş C., 2015)

Genellikle kuruma eğrileri yüksek hız evresi, sabit hız evresi ve azalan hız evresi olarak tanımlanan üç kurutma periyotlarından oluşur **(Şekil 2.2)**



Şekil 2.2 Kurutma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi (Tüfekçi S., 2014)

A noktası kurutmanın başlangıcındaki ürünün nem içeriğini ifade eder. AB aralığı boyunca yüksek hızda nem kaybı olur ve kuruma periyotlarından yüksek evreyi ifade etmektedir (Aktaş C., 2015). Bu evre oldukça kısadır ve sabit olmayan ısınma evresidir. Bu sebeple genelde kurutma süresi hesaplamalarında ihmal edilmektedir. B noktasında sabit hız evresi başlar. Bu noktada ürünün yüzey sıcaklığı denge sıcaklığına ulaşır (Tüfekçi S., 2014).

BC aralığında sabit hıza ulaşır ve serbest suyun büyük çoğunluğu üründen uzaklaşır. Bu evrede üründen birim zamanda sabit miktarda su uzaklaşmaktadır (Aktaş C., 2015). Ürünün içinden yüzeyine doğru hareket eden suyun difüzyonu yüzeyden ayrılan su miktarından fazladır (Geankoplis C.J., 2011). Ürünün nem miktarı azaldıkça kalan mevcut su ürün yapısına daha güçlü bir şekilde bağlanır (Aktaş C., 2015).

C noktasında ürün kritik nem değerine ulaşmıştır. Kritik nokta (Xc) ürünün yüzeyinde kurumanın başladığı noktadır. CD aralığı ilk azalan hız evresidir. Yüzey sıcaklığının arttığı ve yüzeyde kurumanın tamamen gerçekleştiği D noktasına kadar devam ettiği evredir. Ürün nemi azaldığı için kuruma hızı da düşmüştür ve üründen daha az su uzaklaşır (Geankoplis C.J., 2011).

D noktası ikinci azalan hız evresinin başlangıcıdır. Kuruma hızının daha hızlı düştüğü ve denge nem içeriği olan E noktasına kadar süren evredir. Azalan hız

periyodunda suyun taşınımı sıvı difüzyonu teorisi ve kılcal hareket teorisi ile açıklanır. Gözenekli yapıdaki ürünlerde gıdanın yüzeyi ile iç kısmındaki konsantrasyon farkı sebebiyle suyun difüzyonu gerçekleşmektedir. Granül yapıdaki gıdalarda serbest su kılcal borulara doğru ilerleyerek uzaklaşır. Bu teoriler dışında gıdalarda suyun taşınımı kısmi buhar basınçlarının farklılığından kaynaklı buhar transferi ve toplam basınç farklılığının sebep olduğu viskoz akış ile açıklanabilir (Tüfekçi S., 2014).

2.3 Kurutma Yöntemleri

Gıdaların kurutulmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. En eski yöntemlerden biri olan ve ilk çağlardan günümüze kadar kullanılmaya devam eden güneşte kurutma yöntemi doğal kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Ancak güneşte kurutma yönteminin hava koşullarına bağlı olması, çok uzun zaman alması , hijyen koşullarının tam olarak sağlanamamasına bağlı olarak küf, bakteri gelişimi görülmesi, ortam şartlarından dolayı böceklenme, kemirgen gibi canlı zararına uğraması gibi birçok dezavantajı vardır (Ekechukwu ve Norton, 1999).

Sahip olduğu dezavantajlara da bağlı olarak ürün kalitesinin düşmesi nedeniyle yapay kurutma olarak adlandırılan çeşitli yöntemler araştırılmış ve geliştirilmiştir.

Bu amaçla geliştirilen yöntemler arasında dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, vakumla kurutma, ozmotik kurutma, sprey kurutma, kabin kurutuculardа kurutma, konveyör kurutucularda kurutma ve bunların kombinasyonu ile geliştirilmiş yöntemler yer almaktadır (Rodríguez vd., 2015). Ürünün tipi, son üründe istenen kalite özellikleri ve maliyete bağlı olarak en uygun kurutma yöntemi seçilmektedir (Raghavan vd., 2005).

2.3.1 Sıcak Hava Kurutma (SHK)

Sıcak hava ile kurutma (SHK) yöntemi gıdaların kurutulmasında yaygın olarak kullanılan en basit ve ekonomik konvektif kurutma yöntemidir. Gıdanın yerleştirildiği tepside sıcak hava gıdanın etrafından dolaşması kurutma işlemi gerçekleşmektedir. Hava kurutucuya girerken ısı değiştiriciler vasıtası ile ısıtılır. Gıdalar doğrudan sıcak hava akımına maruz bırakılmasıyla su buharı üründen uzaklaştırılır (Barbosa V. G. ve Mercado V.H., 1996).

Bu yöntemde genellikle 50-100 °C arasında sıcaklıklar uygulanırken gıda üzerinden geçirilen sıcak havanın hızı 0,1-5,0 m/s arasında değişir. SHK yönteminde azalan hızda kuruma evresi başladığında gıdanın kuruma hızı düştüğünden kuruma süresi uzamaktadır. Bu nedenle uzun süre ısıtma uygulanması gerektiğinden enerji yoğun bir işlem olmaktadır. Bunun sonucunda da fiziksel ve fitokimyasal kalite kayıpları oluşmaktadır (Nemzer vd., 2018). Hava sirkülasyonu yatay ve dikey olarak uygulanabilmektedir. Kuruma hızına etki eden faktörler hava sıcaklığı, nemi, hızı, yayılma şekli ve gıdanın özellikleri, boyutu ve şeklidir. Teorik olarak hava sıcaklığı ve hava akış hızı ne kadar yüksek olursa kuruma hızı o kadar yüksektir. Havanın bünyesinde barındırdığı nem ne kadar düşük olursa kuruma miktarı o kadar yüksek olur. Kurutucudaki hava dışarı atılarak sisteme düşük nemli hava girişi sirkülasyonu etkin bir şekilde sağlanarak kurutucudaki nem birikimi engellenmelidir (Rahman vd., 2007).

Güneşte kurutma yöntemine kıyasla daha kısa sürede kurutma imkanı ve kontrol edilebilir proses imkanı sunar. Aynı zamanda mikrobiyal kontaminasyonu azaltır (Gao vd., 2012). Bu avantajların yanında yüksek sıcaklık ve uzun süre uygulama sonrasında biyoaktif bileşenlerde önemli derecede kayıp olabilmekte, antioksidan kapasitesi düşmekte ve istenmeyen tat ve renk profilleri oluşabilmektedir (Singh D., Kingsly A., 2008).

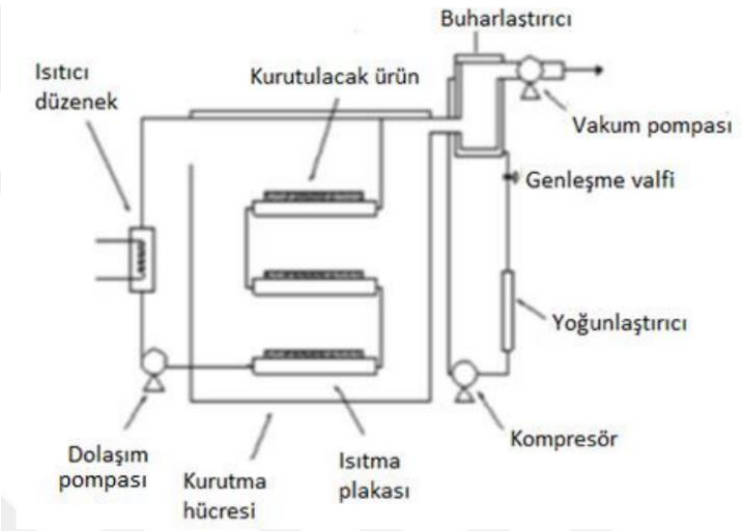
Goji berry meyveleri belirli bir süre oksijen içeren havaya maruz bırakıldığında ısıya duyarlı bileşiklerin bozulması, gözle görülür büzülme ve enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu meydana geldiği görülmüştür. Meyvelerin toplam toplam polifenol miktarı ve antosiyanin içeriği SHK sonrası önemli ölçüde azalmıştır (Sun vd., 2019).

2.3.2 Dondurarak Kurutma (DK)

Dondurarak kurutma (DK) yöntemi liyofilizasyon olarak da adlandırılan gıdadaki suyun düşük basınç ve düşük sıcaklıkta buharlaştırılması yöntemidir. Buz süblimasyonu prensibine dayanan bu yöntemde yüksek vakum koşulları altında buzun suya süblimasyonu ile gerçekleşir (Sun vd., 2019). Dondurarak kurutma geleneksel kurutma yöntemlerinde meydana gelen kalite kayıplarını minimuma

indirgemek için geliştirilmiştir. İlk olarak 1940'larda kan ürünlerinin ve kuru plazmanın büyük ölçekte üretimi için kullanılmış olup sonralarda antibiyotiklerin ve biyolojik malzemeler endüstriyel ölçekte dondurarak kurutma yöntemi ile hazırlanmıştır (Barbosa V. G. ve Mercado V.H., 1996).

Dondurarak kurutma yöntemi, diğer yöntemlere kıyasla en hafif dehidrasyon yöntemlerinden biri olarak kabul edilir ve meyvelerdeki biyoaktif bileşenlerin nispeten yüksek derecede kalmasını sağlar (Sun vd., 2019). Ortamda ihmal edilecek kadar az hava bulunması sebebiyle ve düşük sıcaklık ile uygulama yapıldığından üründe oksidatif bozulma, protein denatürasyonu ve vitamin kaybı gibi istenmeyen reaksiyonları engellemektedir. Bu sebeple ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasında tercih edilen bir yöntemdir (Bingöl G., Devres Y.O., 2010). Şekil 2.3'de dondurarak kurutucu sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Dondurarak kurutucu şematik gösterimi (Kırmacı V., 2008)

Dondurarak kurutma yöntemi üç aşamadan oluşur. Bunlardan biri dondurma evresidir diğerleri ise iki evreden oluşan kurutma evresidir. Birinci evresinde ürün dondurulur. Dondurma işleminin hızı buz kristallerinin şekli, boyutu ve dağılımını etkilerken süblimasyon sırasında oluşacak gözenek yapısını da etkilemektedir (Cumhur vd., 2016). Dondurma işlemi sonrasında gıdadaki suyun %65-90'ı donmuş olur , geri kalanı bağlı su olarak bulunur. Donma işlemi sonrası oluşan kristaller

süblimleştiğinde gıdanın içerisinde kapladıkları hacim kadar boşluklar oluştururlar. Küçük kristaller gıdanın yapısında hacimce daha küçük ve az gözenekler meydana getirirler. Küçük buz kristallerinin eldesi için dondurma evresi hızlı gerçekleşmelidir. Küçük buz kristallerini dondurarak kurutmak zor olsa da süblimasyon sonrası gıda yapısına da az zarar verir. Gıda yavaş dondurulduğunda daha büyük buz kristalleri oluşur ve büyük buz kristallerini dondurmak küçük buz kristallerini dondurmaktan daha kolay olsa da gıdanın yapısına daha fazla zarar verir (Kırmacı V., 2008).

Kurutma aşamasının ilk evresinde ürün içinde buz fazında bulunan su süblimasyon ile gıdadan uzaklaşır. kuruyan ve donmuş halde olan tabaka arasında süblimasyon sonucu bir ara yüzey oluşur ve kurumuş bölgedeki gözenekler süblimasyona karşı direnç oluşturur. Bunun sonucunda süblimasyon oranı azalır ve zamanla durur. Bu evrenin tamamlanması ile serbest suyun tamamen süblimasyonu gerçekleşir. İkinci kurutma evresi, dondurma işlemi sırasında donmadan yapıda kalan %10-35 oranındaki bağlı suyun desorpsiyon ile uzaklaştırıldığı evredir (Toğrul vd., 2005b).

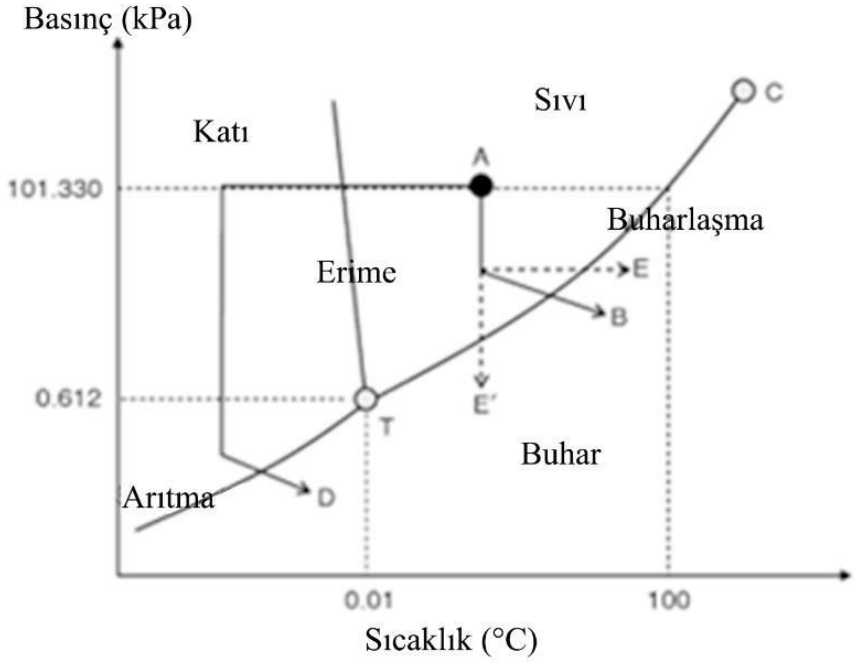
Diğer kurutma yöntemleriyle kıyaslandığında dondurarak kurutma en kaliteli ürünler elde edilmektedir ancak yavaş ve pahalıdır (Kırmacı V., 2008). Dondurarak kurutulmuş gıdaların büzülmüş ve gözenekli yapısı sayesinde tekrar su alarak taze yapısına çok yakın bir yapı elde edilir (Krokida vd., 1998).

Dondurarak kurutma, sahip olduğu avantajların yanı sıra işlem sıcaklığının düşük olması sebebiyle ürünler kolayca mikrobiyal kontaminasyona uğrama ihtimalinin olması ve endüstriyel üretim açısından kurutma süresinin uzunluğu nedeniyle yüksek işletme maliyetinin olması gibi dezavantajlara sahiptir (R. Wang vd., 2011). Bununla birlikte daha yüksek biyoaktif bileşene sahip ürünler elde edilmesi nedeniyle ürünün nihai fiyatı işlemin yüksek maliyetini dengeleyebilir (Sun vd., 2019).

2.3.3 Vakum Kurutma (VK)

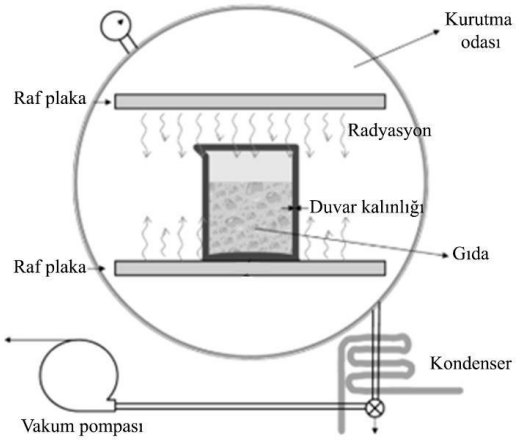
- **Vakum Sistemi**

Şekil 2.4'de suyun faz diyagramı gösterilmiştir. Diyagramdaki T noktası suyun üçlü noktası olarak adlandıırlmaktadır. Gıdanın sıcaklığı suyun kaynama noktasının altında ise kurutma mekanizması atmosferik kurutmaya benzer gerçekleşir.



Şekil 2.4 Suyun faz diyagramı (Chen X. ve Mujumdar A., 2008). (T: Üçlü Nokta; C: Suyun kritik noktası)

Vakum kurutma, buhar basıncı 0,612 kPa -101.330 kPa aralığında ve sıcaklık 0,01°C 'nin altında gerçekleşmelidir. Bir gıda vakum ile kurutulacaksa A'dan B'ye doğru bir yol izlenmeli ve atmosfer basıncının altında bir basınç oluşturulmalıdır. Kurutma sıcaklığı ve basıncı suyun kaynama noktasındaki değerlere eşit olmalıdır. Bu noktada toplam basınç ve doymuş nokta basıncı birbirine eşit olmalıdır. Vakum kurutmada toplam basınç 5-20 kPa aralığındadır.



Şekil 2.5 Vakum kurutma odası (Chen X. ve Mujumdar A., 2008).

Şekil 2.5'de vakum kurutma kurutma odasının sistematik çizimi verilmiştir. Isı, alt plakadan ürüne taşınım ile olurken üst plakadan ürüne radyasyon ile transfer edilir (Chen X. ve Mujumdar A., 2008).

Vakum kurutma yönteminde gıdalardaki su düşük basınç uygulanarak kaynama noktasının azaltılması ile daha düşük sıcaklıklarda buharlaşma gerçekleştirilir (Menon vd., 2020). Belirli bir basınçtaki vakum ortamı, buhar enjektörü veya vakum pompası kullanılarak oluşturulur. Kurutulacak olan gıdadaki nem konveksiyon, kondüksiyon veya radyason yöntemlerinden biri ya da kombinasyonu ile ısıtılarak uzaklaştırılır (Arévalo-Pinedo ve Murr, 2006). Basıncın azalması ile uzaklaştırılacak olan suyun kaynama noktası düşer ve gıdanın yüzeyindeki buharlaşma hızı artar. Böylece kurutma işlemi daha düşük sıcaklıklarda ve daha kısa sürede gerçekleşir. Bu sayede yüksek sıcaklığın ve uzun kurutma süresinin sebep olduğu zararları engeller (Tekin H.Z., 2015). Kurutma sırasında oksijensiz ortam oluşturulduğundan oksidasyon reaksiyonunun önüne geçilir ve bu sayede biyoaktif bileşen içeriği korunur. Aynı zamanda yüksek sıcaklık uygulamalarında yüzeyi çabuk kuruyup içi nemli kalan ürünlerde de vakum kurutma yöntemi önerilmektedir. Vakum kurutma, düşük sıcaklık ile gerçekleştiğinden ürün yüzeyinde kabuk oluşmadan gıdanın içinden su difüzyonu gerçekleşir ve ürünün tamamen kurumasına imkan sağlar (Şahin H., 2010).

Vakum kurutmanın dezavantajlarından biri, ısı transferinin vakum altında zor gerçekleşmesidir (Chen X. ve Mujumdar A., 2008). Ürün vakum fırınlarındaki tepsilere yerleştirilir. Gerekli ısı ürünün üzerine konduğu raftan kondüksiyon ile, kısmen de radyasyon ile de kurutucunun üst rafından sağlanır (Tekin H.Z., 2015). Vakum altında yok denebilecek kadar az sıvı olduğundan konveksiyona çok nadir rastlanır. Bu sebeple ısı transfer katsayısı yüksek vakum altında ihmal edilebilir. Isı transferini kısıtlayan etkenlerden biri ürün ile ürünün yerleştirildiği raf arasındaki temasın iyi olup olmamasıdır (Chen X. ve Mujumdar A., 2008). Vakum kurutma ile gıdadan uzaklaşan su sistemde bulunan yoğuşturucu ile sıvı faza dönüştürülerek dışarı atılır (Çelen, 2010).

Yöntem, basıncın düşürülmesiyle daha düşük sıcaklıklarda etkin bir kurutma imkanı sunduğundan ve oksijensiz ortam sağladığından instant kahve gibi ısıya ve oksijene karşı duyarlı gıdaların üretiminde avantaj sağlamaktadır (Brown M., 1999). Vakum kurutmanın sunmuş olduğu bu imkanlar sayesinde kurutulan gıdaların renk, tat ve tekstür gibi özellikleri korunabilmektedir (Yongsowatdıgul J., 1995).

Vakum kurutma ile geleneksel kurutma yöntemlerinin dezavantajları azaltılabilmesine rağmen gıdaların merkezindeki nemin gıda yüzeyine transferine imkan sunmaz ve bu sebeple dehidrasyon gıdanın yüzeyinde dik nem eğimi ile sonuçlanır (Avramidis, 2018). Bu sebeplerle vakum kurutma yöntemi diğer kurutma yöntemleri ile kombinasyon olarak ya da ön işlem olarak kullanılabilir. Vakum kurutma yöntemi, dondurarak kurutma, kızgın buhar ısıtma, mikrodalga, ohmik ısıtma, sıcak hava ile kurutma veya ultrases dalgalarıyla kombine edilerek dehidrasyon verimi arttırılabilir.

2.3.4 Ultrases Destekli Vakum Kurutma

- **Ultrases**

Ultrases, 20 kHz'den daha büyük frekanslara sahip bir ses dalgasıdır ve malzemelerle etkileşim, esas olarak termal etki, mekanik etki ve kavitasyon etkisi ile üç formdan oluşur (Sun vd., 2019). Ultrases kurutma, iç ve dış dirençlerin ikisine de etki sağlayarak kütle transferini arttırması ile gıda sektöründe tercih edilen bir yöntemdir (Celik vd., 2020). Gıda kurutma yöntemlerinde bir ön işlem olarak veya

bir kurutma yöntemiyle kombine olarak kullanılan, gıdanın sıcaklığında önemli bir değişime sebep olmadan kurutma hızını arttıran ısıl olmayan bir yöntemdir (Cohen ve Yang, 1995). Kullanılan frekansa ve uygulanan ses dalgasının genliğine bağlı olarak uygulamaları olanak sağlayan fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler gerçekleştirebilmektedir (Goula vd., 2017) Ultrases, gıda sektöründe enzim inaktivasyonu ve ekstraksiyonu, mikroorganizma inaktivasyonu, dondurma, kurutma, filtrasyon, emülsifikasyon gibi işlemlerde uygulanıp ve olumlu sonuçların alındığı bir teknolojidir (Başlar M., vd., 2016). Ultrases dalgaları, mekanik yapısından dolayı içinde bulunduğu ortamda gıdanın partikülleri üzerinde bir seri sıkışma ve gevşeme hareketleri ile süngerimsi yapıya benzeyen mikro kanallar meydana getirir. Bu hareketlerle suyun çıkışını sağlamaktadır ve bu etkiye sünger etkisi denilmektedir. Bu mekanizmadaki kuvvetler, suyun gıdanın içinde tutulmasını sağlayan yüzey geriliminden fazla kuvvete yol açması sonucu kılcal kanallar yardımıyla su uzaklaşmaktadır (Mulet vd., 2003).

Ultrases, yüksek ve düşük şiddetli olarak ikiye ayrılır. Yüksek şiddetli ultrases, sıvı bir ortama uygulandığında düşük ve yüksek basınçlı dalgalar meydana getirir. Yüksek şiddete sahip ultrases, uygulandığı sıvı içerisinde çalkalanmaya sebep olarak iç direnci azaltır. Yüksek şiddetli ultrases, sıvıda karıştırma etkisi yaratır ve sıvı içinde yığın kütle transferini arttırır. Aynı zamanda kütle transferine olan direnci azaltır.

Düşük basınçlı dalga oluştuğunda ise sıvıda küçük kabarcıklar meydana gelir. Bu vakum baloncukları en fazla enerji absorbasyonu yapacakları boyuta ulaşana kadar büyürler. Daha fazla enerji barındıramayacakları hacme ulaştıkları anda içe doğru patlarlar. Bu olaya kavitasyon olarak adlandırılır. Oluşan kavitasyon bağlı suyun uzaklaştırılmasında etkin rol oynar. Kavitasyon sonucunda kabarcıklarda 1000 atm'nin üzerinde basınç ve yaklaşık 5000 K sıcaklık oluşmaktadır (Tekin H.Z., 2015). Ultrasesin prensibi, oluşan bu yüksek ısı ve enerjiyi kullanılması üzerinedir (Ercan, 2013). Sisteme bağlı olarak bazen kabarcıklar patlamaz. Bu durumda, ultrases uygulandığı andaki frekansta süren titreşimler sıvı da karıştırmayı da sağlar(Mulet vd., 2003).

Kavitasyon, kararlı ve geçici olarak iki tiptir. Düşük ultrases şiddetine sahip (1-3 W.cm-2) ve 20 kHz'ten daha yüksek frekansa sahip sistemlere kararlı kavitasyon denmektedir. Genelde gaz ve buhar içeriren ve kimyasal reaksiyonlarda anlamlı bir etkisi olmayan kavitasyon çeşididir. Düşük akustik basınca sahip çevrede baloncuklar patlayarak çökmek için gerekli olan seviyeye erişemediklerinde, her bir ultrases çevriminde oluşmakta ve çökmeden oluşmaya devam etmektedir (Zambak Ö., 2015). Yüksek akustik basınçta sistemde meydana gelen kabarcıklar büyümeye başlarsa içe doğru şiddeli bir patlama gerçekleşebilir ve geçici kavitasyona dönüşebilir. Fakat yine de bu patlamaların şiddeti normal geçici kavitasyon ile gerçekleşen patlama şiddetinden daha düşüktür ve daha az yapısal değişim meydana gelir. Bu sebeple, vakum altında düşük şiddetli ultrases şiddeti tercih edilmektedir.

Kavitasyon ve sünger etkisi, sınır katmanındaki difüzyonun azaltılmasında ve konvektif kütle transferinin arttırılmasında etkilidir. Porlu katı gıdalarda, ultrases dalgalarının etkisiyle mikrodeformasyon ile mikrokanallar meydana gelir. Ultrases titreşimleri gıdada ısı ve kütle transferini arttırır ve böylece uygulanan sıcaklık ve işlem süresi azaltılır (Fuente-blanco ve Sarabia, 2006).

Kavitasyon yapıdaki suyun uzaklaştırılmasında etkili olduğu için kurutma süresini kısaltmaktadır. Bunun yanı sıra enzimler ve mikroorganizmalar üzerinde de etkili olmaktadır. Ultrasesin etkisi ile patlamalar sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve basınç sonucu hücre duvarı yapısında bozulmalar olduğundan mikroorganizmaların inhibisyonu gerçekleşir (Butz ve Tauscher, 2002). Mikrobiyal inhibisyona sebe polan diğer bir mekanizma serbest radikal oluşumudur. Ultrases sebebiyle oluşan hidroksil (OH-) radikalleri ve hidrojen peroksit bakterisid etki gösterir. Mikroorganizmaların hücre duvarlarının parçalanması sonucu ultrases dalgaları mikroorganizmayı öldürebilmektedir. Mikroorganizmaların inaktivasyonunu etkileyen faktörler; hücre büyüklüğü, hücre duvarının kalınlığı, ultrases dalgalarının büyüklüğü, uygulanan ultrases dalgalarının büyüklüğü, uygulanma süresi ve sıcaklığı, uygulanan ürünün hacmi, içeriği sayılabilir (Butz ve Tauscher, 2002).

Kavitasyonun enzimlere olan etkisi ise, ultrasesin üç mekanizması sayesinde inaktivasyonunu gerçekleştirmektedir. Bu mekanizmalar, kavitasyon sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklık, ultrases dalgaları sonucu meydana gelen mekanik güç ve suyun sonolize olması ile beraber serbest radikallerin oluşmasıdır (Earnshaw, 1995).

Ultrases destekli kurutma, ısıl olmayan bir yöntem olması ve kurutma süresini kısaltması gibi avantajlara sahip olması sebebiyle, tek başına yeterli olmayan kurutma yöntemleriyle kombine kullanılabilmektedir.

- **Kavitasyonu Etkileyen Faktörler**

Sıcaklık : Sıcaklık arttıkça buhar basıncı da artar. Bununla birlikte gerilim kuvveti düşer ve oluşan baloncuk sayısında artış olur. Ancak sayısı artan kabarcıkların patlaması anındaki şiddeti düşer ve kavitasyonun etkisi azalır (Zambak Ö., 2015).

Frekans: Yüksek basınç ve genliğe sahip dalga üretmek düşük frekans ortamında daha kolaydır. Bu sebeple yüksek şiddetli ultrases işlemleri 20 kHz'den düşük frekanslarda daha etkili olmaktadır. 1 MHz ve daha yüyksek frekanslarda, akustik basınç düşük olur ve genlik içerisinde kolayca dağılır.

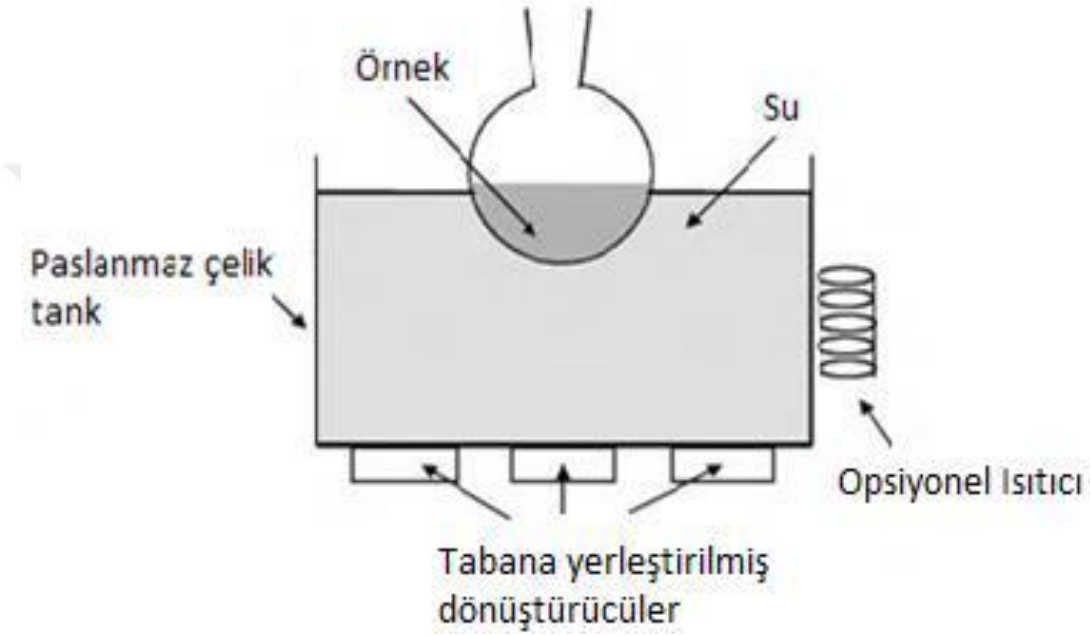
Ultrases Şiddeti : Ultrasesin frekansı ve kurutulacak olan ürün çeşidi, kavitasyon oluşumu için aşılması gereken eşik değerini etkilemektedir. Ultrases şiddeti arttığında, baloncuk sayısı artsa da bu baloncuklar bir araya gelmeye çalışarak kavitasyon oluşumunu ve patlamayı geciktirir (Başlar M., 2011).

- **Ultrasonik Cihazların Mekanizması**

Ultrasonik cihazlar, dönüştürücüler (transduserler) yardımı ile elektrik akımını mekanik titreşime dönüştürerek ses dalgaları oluşturan sistemlerdir. Dönüştürücüler üç sınıfta gruplandırılmaktadır. Bunlar gaz zorlamalı dönüştürücüler, sıvı zorlamalı dönüştürücüler ve elektromekanik dönüştürücülerdir. Elektromekanik dönüştürücüler kendi içinde piezoelektrik ve magnetostriktif olmak üzere iki gruba ayrılır (Zambak Ö., 2015).

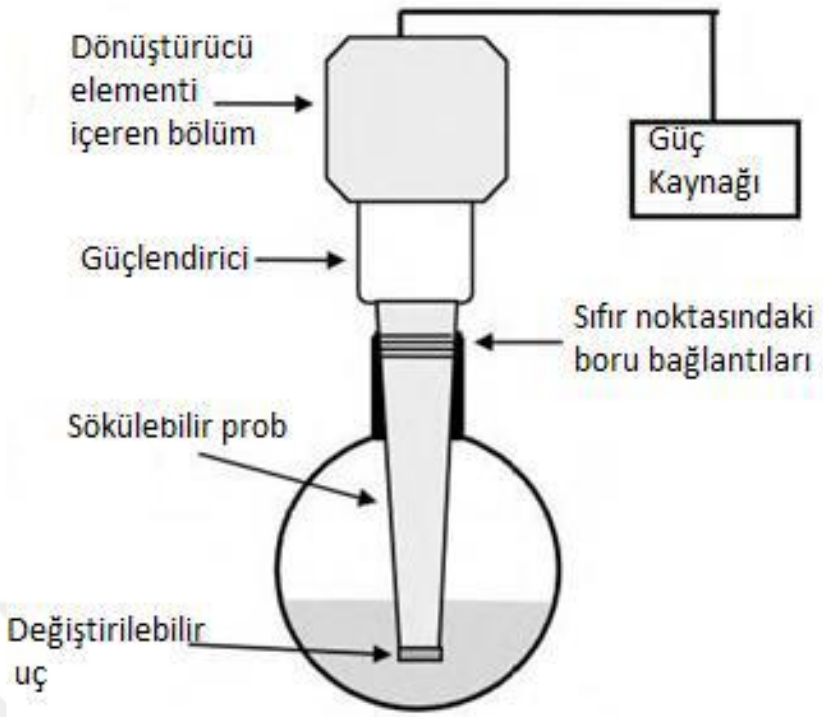
Dönüştürücüler tarafından elde edilen ses dalgaları, ultrasonik banyo ya da prob sistemleri yardımıyla ortama yayılması sağlanır. Şekil 2.6'da ultrasonik su banyosunun şematik gösterimi yer almaktadır. Bu sistemde alt kısımdaki metal

gövdeye piezoelektrik dönüştürücü yerleştirilmiştir. Dönüştürücü yardımıyla, elde edilen titreşimler cihazın gövdesine ve gövdeden içerisindeki suya aktarılır. Dalgaların homojen dağılımı ve su banyosunun kolay uygulanabilirliği sistemin önemli avantajlarındandır. Dezavantajları olarak sıcaklık kontrolünün zorluğu, gıdanın su banyosuna yerleştirildiği konumuna göre sistemin etkinliğinin değişmesi ve sabit frekansta çalışabilmesi sayılabilir (Tüfekçi S., 2014).



Şekil 2.6 Ultrasonik su banyosunun şematik gösterimi (Tüfekçi S., 2014).

Prob sistemlerinde ise, dönüştürücüye kavitasyonun sebep olabileceği erozyona karşı dayanıklı inert bir prob adapte edilir. Bu prob sayesinde enerji sisteme doğrudan aktarıldığı için enerji kaybı düşüktür ve yorulma dayanımı yüksektir. Prob erozyona her ne kadar dayanıklı olsa da zamanla erozyon oluşabilir. Bu durum da gıdaya metal kontaminasyonu olmasına sebep olabilir ve ultrasesin gücünü azaltabilir. Şekil 2.7'de ultrasonik probun şematik gösterimi yer almaktadır (Tüfekçi S., 2014).



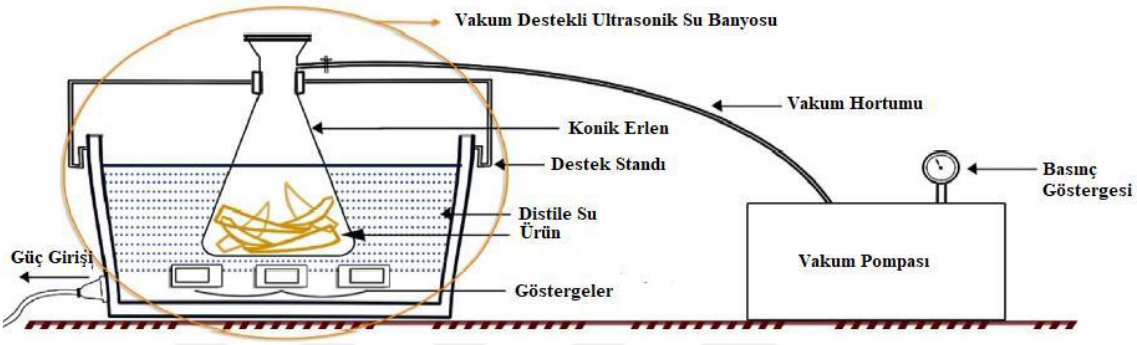
Şekil 2.7 Ultrasonik prob şematik gösterimi (Tüfekçi S., 2014).

- **Ultrasesin Gıdalara Uygulanması**

Ultrases uygulaması poröz yapılı gıdaların kurutulmasında, sıcaklık ve işlem süresini azaltan etkin bir yöntemdir. Aynı zamanda oluşturulan mekanik dalgalar sayesinde iç kısımdan yüzeye doğru gıdadaki kütle ve ısı transferinin artmasını sağlar (Başlar vd., 2014). Gıda kurutma proseslerinde ultrases işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasesin kullanımı kesme, sıvılarda gazın giderilmesi, homojenizasyon, etin yumuşatılması, emülsifikasyon gibi birçok geleneksel işlemine alternatif olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda kurutma, dondurma, çözündürme, oksidasyon, filtrasyon, eksraksiyon gibi yöntemleri de desteklemek amacıyla kombine olarak kullanılmaktadır (Tao ve Sun, 2015).

Ultrases dalgaları, kütle transferini önemli ölçüde hızlandırır ve bu sayede iyi bir koruma sağlar . Böylece gıda kalitesini koruyarak kurutmaya yardımcı olmaktadır (Başlar M., vd 2016). Gıda endüstrisinde ultrases yönteminin kullanımıyla ilgili çalışmalar devam etmektedir ve gelecekte ultrasesin daha etkin bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir (Yuksel, 2018).

Ultrases destekli vakum kurutma (USVK), vakum kurutma ile ultrases dalgalarını kombine eden bir metottur. Şekil 2.8'de USVK uygulamasının şematize edilmiş görseli bulunmaktadır. Bu yöntem hem vakum kurutma hem de ultrasesin avantajlarını sunmaktadır. Kısa kurutma süresi, yüksek kurutma oranı, taze ürüne yakın duyusal ve besinsel özellikler sergilemesi gibi avatanların yanı sıra gıdanın kalitesini ve fiziksel özelliklerini korumak için iyi bir metottur (Patel ve Murthy, 2009).



Şekil 2.8 Şematize edilmiş ultrases destekli vakum kurutma düzeneği (Krishnan R. vd., 2020)

Ultrases, vakum sayesinde düşük basınç ve sıcaklık altında gerçekleştirilmesiyle beraber ultrases dalgalarının etkisi ile gıda merkezindeki kütle transferini hızlandırır ve yapısındaki mikrokanalları genişleterek suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırması ile vakum kurutmanın eksiklerinin giderilmesi ve bu özelliğin iyileştirilmesi potansiyeli bulunmaktadır. Ultrases ısıl olmayan ancak etkili olan bir işlem olarak, mikro kanallar oluşturarak sürekli sıkışma ve gevşeme hareketleriyle süngerimsi bir yapı oluşturduğu ve kavitasyon meydana getirdiği için gıdada bulunun hem serbest suyu hem de sadece vakum kurutma metodu uygulandığında tamamı uzaklaştırılamayan bağlı suyun kolay bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Gıda sıcaklığı yüksek seviyelere gelmesine gerek kalmadan kurutma hızını arttırır (Cohen ve Yang, 1995).

Ultrases, ön işlem olarak kullanıldığında mekanizma tamamen farklılık gösterir ve gıda, distile su veya ozmotik çözelti gibi bir sıvı ortam içine daldırılır ve ultrases uygulanır. ULtrases uygulamasından sonra uygulanacak olan diğer kurutma metoduna geçilir. Böylece ön işlem olarak ultrases uygulanan gıdaların iç direnci,

ultrasesin sebep olduğu yapısal değişiklikler nedeniyle azalmaktadır (Ricce vd., 2016). Ultrasesin ısıtma etkisinden daha çok mekaniksel etkisi sebebiyle kurutma proseslerinde kullanımına olan ilgi artmaktadır. Gıdanın kurutma süresini ısıtılmadan önemli ölçüde kısaltmaktadır. Ultrases destekli vakum kurutma yöntemi, bu sayede daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmeye olanak sağlamaktadır (Puig vd., 2012). Aynı zamanda vakum kurutma yönteminde oksijensiz ortamın olması ve düşük sıcaklıklarda kurutmanın gerçekleşiyor olması gıdanın biyoaktif bileşenleri ve duyusal kalitesini korumaktadır (Reis R.F., 2014).

3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

Goji berry (*Lycium barbarum*) Eylül 2021'de Manisa, Akhisar bölgesinde yerel bir üreticiden (Ayşepınar Ekolojik Tarım Çiftliği) temin edilmiştir. Taze numuneler laboratuvara taşınmış ve kurutma işlemine kadar 4°C'de saklanmıştır. Taze Goji berry'nin başlangıç nem içeriği kızılötesi nem tayin cihazı (Rad-wag, MA 50-R) kullanılarak %87.75±2.50 olarak belirlenmiştir. Goji berry meyveleri bir bütün olarak kurutuldu. Kurutulmuş goji berry meyveleri analizlere kadar desikatörde saklanmıştır.

Tüm kimyasallar (HPLC dereceli metanol, -etanol, -asetonitril, -ultra distile su ve asetik asit, heksan, NaCl, KOH, Folin Ciocalteu's fenol reaktifi, Na2CO3, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), CuCl2, neocuproine ve NH4Ac) ve standartlar (gallik asit, protokateşik asit, kateşin, 4-hidroksibenzoik asit, siringik asit, ellagik asit, m-kumarik asit, o-kumarik asit, krizin, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit, kuersetin, kaempferol, rutin, sinapik asit ve klorojenik asit analitik saflıktaydı ve Merck (Darmstadt, Almanya) veya Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, ABD) satın alındı.

3.2 Yöntemler

3.2.1 Kurutma Prosedürü

Goji berry meyveleri sıcak havayla kurutma (SHK), vakumla kurutma (VK), ultrason destekli vakumla kurutma (UVK), dondurarak kurutma (DK) ve ultrason ön işlemli dondurarak kurutma (UDK) ile bütün olarak kurutuldu. SHK, VK ve UVK için kurutma işlemleri 50 °C'de gerçekleştirilmiştir. Üç farklı sıcaklık (50, 60 ve 70 °C) uygulanmış ve toplam fenolik madde içeriğinde en yüksek değer gösteren sıcaklık kurutma sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

SHK, 1.3 m/s'lik sabit bir hava hızında gerçekleştirilmiştir. Hava hızı, bir Testo 440 kanatlı prob anemometresi (Lutron, AM-4201 ve Tayvan) ile ölçülmüştür. Hava akımı goji berry meyvelerinin yüzeyinden yatay olarak uygulanmıştır.

VK için, goji berry meyvelerinin vakumla kurutulması için bir vakumlu kurutucu (DaihanWOV-30, Gangwondo, Güney Kore) kullanıldı. Vakum, 60 mbar nihai basınç ve 2 L/s pompa hızı ile bir vakum pompası (EVP 2XZ-2C, Zhejiang, Çin) tarafından düzenlendi.

Başlar vd., (2014) tarafından geliştirilen UVK sistemi, bir ultrasonlu su banyosu (Daihan, WUC-D10H, Güney Kore) (genlik: %100, güç yoğunluğu:~1 W/cm2, hacim: 10 L) ve bir vakum pompasının (KNF N838.3KT45.18, Almanya) (basınç: 15 mbar hız: 22 L/dak) birleşiminden oluşmaktadır. Sonikasyon, ultrasonik su kullanılarak 40 kHz'de gerçekleştirildi.

FK, standart bir dondurarak kurutucu programına (Martin Christ, Beta 1-8 LSC plus) göre gerçekleştirildi ve numuneler -80 °C'de 72 saat süreyle kuruldu. Goji bery meyvelerinin ağırlık kaybı SHK, VK ve UVK sırasında 30 dakikalık aralıklarla kaydedildi. Goji bery meyvelerinin nem içeriği 0,2 kg su/kg kuru maddeye ulaşıncaya kadar kurutma işlemleri yapılmıştır.

- **Etkin Nem Difüzyon Katsayısının (D_{eff}) Tahminlenmesi**

Zamana bağlı nem değişim verileri Newton, Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Wang and Singh, Two terms, Two terms exponential, Parabolic ve Weibull olmak üzere dokuz ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir (Tablo 4.1). Bu modellere göre, M_e'nin değeri M veya M_0'a kıyasla nispeten küçük olduğundan, nem oranı $(M - M_e)/(M_0 - M_e)$ yerine M/M_0 olarak basitleştirilmiştir; burada M, o andaki nem içeriğidir. t, M_0 başlangıç nem içeriği ve M_e denge nem içeriğidir. Model parametreleri ve R^2 değerleri, Statistica yazılım programı (StatSoft, Tulsa, ABD) kullanılarak doğrusal olmayan bir regresyon analizi ile hesaplandı. Modelin kabul edilebilirliği, R^2 ve ortalama karekök hata (RMSE) değerlerine göre belirlendi. Daha yüksek R^2 ve daha düşük RMSE değerleri, kurulan modelin iyi uygunluğunu gösterir. RMSE değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Tekin vd., 2017):

$$\mathrm{RMSE} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(\mathrm{MR}_{\mathrm{pre},i} - \mathrm{MR}_{\mathrm{exp},i} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Denk. 1, MR_{prei} tahmin edilen nem oranıdır, MR_{expi} deneysel nem oranıdır, N gözlem sayısıdır ve n sabitlerin sayısıdır.

Goji berry meyvelerine ait D_{eff} değerleri, Fick'in ikinci yasası (Eşi. 2) kullanılarak hesaplandı:

$$\frac{M}{t} = \nabla\left[D_{eff}\left(\nabla M\right)\right]; \tag{2}$$

Bu denklem, küresel şekiller ve kararsız difüzyon koşulları varsayılarak aşağıdaki denklem olarak uyarlanmıştır:

$$MR = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(n)}\exp\left(\frac{(n)^2\pi^2 D_{eff}t}{r^2}\right), \tag{3}$$

burada D_{eff} etkin nem yayılımı (m^2/s), r Goji berry'nin yarı kalınlığıdır (m) ve n pozitif tam sayıdır. Uzun kuruma süreleri için bu denklem 4 olarak basitleştirilebilir.

$$ln(MR) = ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\pi^2\frac{D_{eff}t}{r^2}\right) \tag{4}$$

D_{eff} değerleri, aşağıdaki denkleme göre zamana karşı ln (MR) ile ilgili deneysel kurutma verileri çizilerek düz bir çizginin eğimi (K) kullanılarak hesaplandı.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \tag{5}$$

3.2.2 Ekstraksiyon

Taze ve kurutulmuş goji berry meyveleri, 1:10 w/v ile metanol-su (50:50, v/v) çözeltisi kullanılarak ekstre edildi. Goji berry örnekleri ve solüsyon karışımı, bir ultra-turrax (Daihan, HG-15D) kullanılarak 10.000 rpm'de 2 dakika homojenize edildi. Daha sonra karışım 2 saat 25°C'de çalkalanmıştır. Çalkalandıktan sonra karışım 2800 g'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Son olarak süpernatant 0.45 µm şırıngalı filtreden süzülmüştür (Göztepe vd., 2022).

3.2.3 Toplam Fenolik İçeriğinin Belirlenmesi

Toplam fenolik içerik (TPC) analizi Başlar vd., (2014), tarafından tarif edilen modifiye edilmiş metoda göre belirlendi. Folin Ciocalteu'nun fenol reaktifi (1:10 v/v) ve Na_2C0_3 (7.5 g/100g), seyreltilmiş metanolik goji berry ekstraklarına (0.5 Ml) sırasıyla 2.5 Ml ve 2 Ml miktarlarında ilave edildi. Daha sonra karışım bir tüp içerisinde karıştırılarak karanlık bir yerde 30 dakika bekletilmiştir. Absorbans, bir UV-Vis spektrofotometresi (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japonya) ile 760 nm'de okundu. Fenoliklerin içeriği, kuru madde (DM) (mg GAE/g DM) başına mg gallik asit eşdeğerleri (GAE) olarak ifade edildi.

3.2.4 Antioksidan Kapasitesi Belirlenmesi

Goji berry ekstraktlarının antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), bakır azaltıcı antioksidan kapasite (CUPRAC) ve ABTS yöntemleri kullanılmıştır. Goji berry ekstraktı (0.1 mL), 4.9 mL DPPH• (0.1 mmol/L metanol) ile karıştırıldı. Karanlık bir yerde 30 dakikalık inkübasyondan sonra, 517 nm'de absorbans ölçülmüştür (Singh vd., 2002).

CUPRAC analizi, Batu ve Kadakal (2021) tarafından tarif edildiği gibi gerçekleştirildi. Bu analiz için bu karışıma 1 mL $CuCl_2$ (10 mmol/L), 1 mL neocuproin (7.5 mmol/L) ve 1 mL NH_4Ac (1 mol/L) ve ardından 1 mL distile su ilave edilerek bu karışım karışımın hacmi 4.1 mL'ye tamamlanmıştır. Karanlıkta yaklaşık 1 saat inkübasyondan sonra, 450 nm'de absorbans değerleri ölçüldü. Sonuçlar, kuru madde (mg TE/g DM) başına mg Trolox eşdeğerleri (TE) olarak ifade edildi.

ABTS testi için Chen vd., (2019) tarafından belirtilen metodun modifiye hali kullanıldı. Her deney için taze ABTS radikal solüsyonu hazırlandı. Goji berry ekstrakları (100 µL) 2 mL ABTS radikal solüsyonu ile karanlık bir durumda 2 saat reaksiyona girmesine izin verildi. Daha sonra spektrofotometre kullanılarak 734 nm'de absorbans alındı. Sonuçlar, Trolox Eşdeğerinin (TE) miligramı olarak ifade edildi.

3.2.5 Fenolik Bileşenlerin Belirlenmesi

Bireysel fenolik bileşikler HPLC-DAD sistemi (Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) ile belirlendi. 1:10 katı/sıvı oranı ile metanol-su (50:50, v/v) çözeltisi ile elde edilen özler, 0,45 um'lik bir membran filtre ile süzüldü. Fenolik asitler, solvent A (formik asit/H2O, 1:99, v/v) ve solvent B içeren bir mobil faz ile doğrusal bir gradyan elüsyon programı kullanılarak bir Waters Atlantis C18 kolonu (250 mm x 4.6 mm, 5 um) (formik asit/asetonitril, 1:99, v/v) 1 mL/dk'lık bir akış hızında üzerinde ayrıldı. Çözücü gradyanı aşağıdaki gibi programlanmıştır: %10 B'den %60 B'ye lineer gradyan elüsyonu, 0-15 dakika; %60 B'lik izokratik elüsyon, 15-20 dakika; %60 B'den %10 B'ye lineer gradyan elüsyonu, 20-25 dakika; %10 B'nin izokratik elüsyonu, 25-30 dk. Kromatogramlar, 190-400 nm dalga boyu aralığında spektrumlar izlenerek 278 nm, 320 nm ve 360 nm'de kaydedildi. Fenolik asitlerin tanımlanması, numunelerindeki piklerin alıkonma süresi ve absorpsiyon spektrumlarının standart bileşiklerinkilerle karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Fenolik bileşiklerin (gallik asit, protokateşik asit, kateşin, 4-hidroksibenzoik asit, siringik asit, ellagik asit, m-kumarik asit, o-kumarik asit, krizin, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit, mirisetin, quercetin, kaempferol, rutin, sinapik asit ve klorojenik asit) her biri için kalibrasyon eğrileri oluşturulmuş ve bu eğrilere göre hesaplamalar yapılmıştır.

3.2.6 Renk Değerleri

Taze ve kurutulmuş goji berry meyvelerinin rengi bir kromametre (Konica Minolta CR-400, NJ, ABD) kullanılarak ölçüldü. Renk değerleri L* (beyazlık/koyuluk), a* (kırmızılık/yeşillik) ve b* (sarılık/mavilik) olarak ifade edildi ve örneklerin toplam renk değişimi ΔE aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

Örneklerin kroma'nın nicel bir özelliği olan C*, aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (7)$$

3.2.7 İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizi gerçekleştirmek için Statistica yazılım programı (StatSoft, Inc., Tulsa, OK) kullanıldı. Tüm analizler üç kopya halinde yapıldı ve standart hata ve ortalama değer sunuldu. Test sonuçlarının ortalama değerlerini karşılaştırmak için tek yönlü ANOVA kullanıldı. Farklı kurutma yöntemlerinin biyoaktif bileşikler, fenolik profil değişikliği, β-karoten ve goji berry meyvelerinin rengi üzerindeki etkisini göstermek için %95 anlamlılık düzeyinde Duncan'ın çoklu karşılaştırma testleri kullanıldı. Antioksidan kapasite ile biyoaktif bileşikler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayısı kullanıldı.

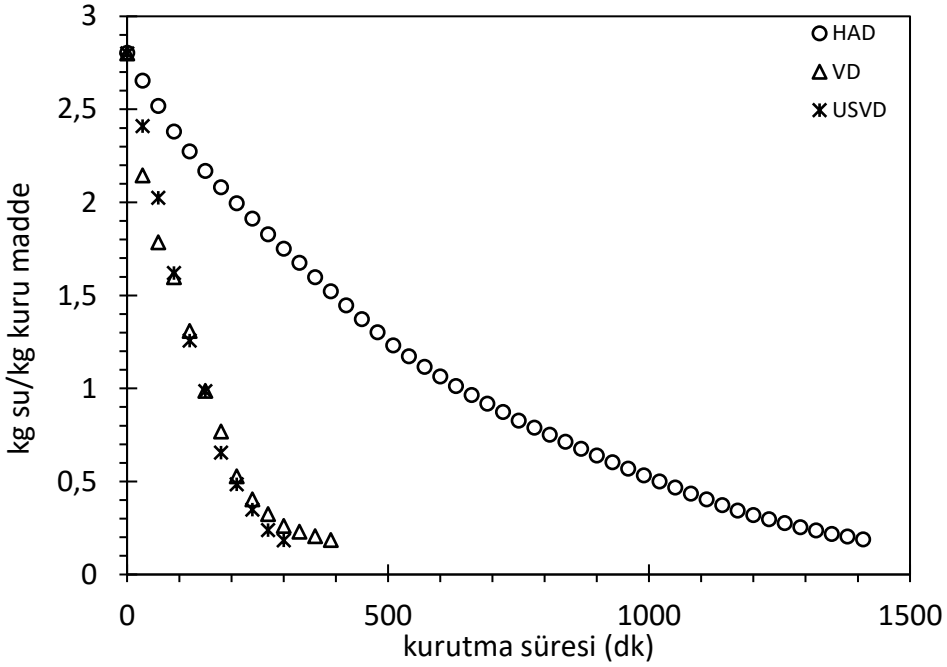
4
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kurutma Kinetiği

Goji berry örneklerinin kuru madde içeriği % 87,75±2,50 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, goji berry örnekleri SHK, DK, UDK, VK ve UAVD yöntemleri ile 50 °C'de 0,2 kg su/kg kuru maddeye ulaşana dek kurutulmuştur. Goji berry örneklerinin UAVD, VK ve SHK yöntemleri ile kuruma eğrileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, goji berry örneklerinin kuruma davranışları ve kuruma süreleri metotlara göre farklılık göstermiştir. Kuruma süreleri UAVD, VK ve SHK yöntemleri için sırasıyla 275, 400 ve 1330 dakikadır.

Goji berry örneklerinin nem içeriği, artan kuruma süresiyle giderek azalmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere goji berry örneklerinin kuruma periyodunun başlangıcında nem oranı hızlı bir şekilde düşmüştür. Kurutma sonunda ise üç metot içinde nem düşüş hızında azalma gözlenmiştir. SHK yönteminde kuruma hızının diğer iki yönteme göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kurutma işleminin sonuna doğru SHK da kuruma hızında kuruma süresi boyunca sürekli azalış görülmüştür. SHK da azalan kuruma evresinin oldukça uzun sürmesi kuruma süresinin uzamasına neden olmuştur. VD ve UAVD ise azalan kuruma evresinin daha kısa sürdüğü görülmektedir.

Goji berry meyvesinin kurutulması zordur çünkü bu meyvenin dışında nemin içeriden dışarıya kaçmasına izin vermeyen bir balmumu tabakası bulunmaktadır. Bu çalışmada, uygulanan ultrases ön işlemi ile kurutmadan önce fiziksel yüzey aşınması sağlanmış olup meyvenin kurutulması için gereken zaman ve enerjinin azaltılmasına yardımcı olmuştur. Russo vd., (2020) ön işlemle kurutulmuş goji berry meyvelerinin, ön işleme tabi tutulmamış olanlara göre daha iyi beslenme kalitesi ve iyi görünüm sergilediğini yaptığı çalışmada rapor etmiştir.



Şekil 4.1 Goji berry örneklerinin kurutma eğrileri (SHK: sıcak hava kurutma; UAVD: ultrases destekli vakum kurutma; VK: vakum kurutma)

Sıcak havayla kurutma işlemi sırasında kuruma hızının düşük olması farklı ilkelerle açıklanabilir. Sıcak hava ile kurutma sırasında ısı, kütle ve momentum transfer hızının diğer iki kurutma yöntemine göre daha düşük olduğu yorumu yapılabilir. Özellikle azalan kuruma evresinde ısı transferindeki etkinliğin azalması gıdanın mikro yapısal özelliklerinin bozulması gibi durumlar gıdanın kılcallarındaki suyun yüzeye ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumda kurutma hızını ciddi seviyede azalmasına neden olmaktadır. Vakum kurutma işlemi sırasında, basınç düşer ve böylece gıdanın içerdiği suyun kaynama noktası da düşer ve yüzeydeki buharlaşma hızının artmasıyla sonuçlanır. Ultrasesin vakumla birlikte kullanılmasının kuruma süresinde kayda değer bir düşüş sağladığı görülmektedir. Bunun nedeni, kavitasyonun sebze ve meyvelerin dokusunda mikroskobik boşluklara neden olması dolayısıyla suyun kolayca uzaklaşması kurutma direncinin azalması ve kuruma süresinin kısalmasıdır. Bu nedenle, VK ve UAVD'nin kuruma süresi SHK'den yaklaşık 3,3 ve 4,84 kat daha kısadır. Başlar vd., (2014), Tekin vd., (2017), Tekin ve Baslar (2018) , Göztepe vd., (2022) tarafından yapılan çalışmalarda da UAVD'nin

kuruma süresini azalttığı bildirilmiştir. Goji berry örneklerinin SHK, VK ve UAVD yöntemleri ile kurutulmasında kuruma davranışını tanımlamak için dokuz farklı modele Tablo 4.1'de yer verilmiştir. Bu modellerin çoğu gıda ve biyolojik materyalde yaygın olarak kullanılan Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logarithmic, Wang and Singh, Two terms, Two terms exponential, Parabolic ve Weibull modelleridir.

Dokuz ince tabaka kurutma modeli, R^2 ve RMSE istatistiksel parametreleri açısından karşılaştırıldı. İstatistiksel analiz değerleri Tablo 4.2'de özetlenmiştir. R^2 değerleri 0.9881 ile 0.9995 arasında ve RMSE değerleri 0.031582 ile 0.158857 arasında değişmektedir. Tüm modeller için R^2 değerleri 0,98'den büyüktür ve bu tüm kurutma modellerinin goji berry örneklerinin kurutma davranışını başarıyla modelleyebildiğini göstermektedir.

Demiray vd., (2017) en iyi modeli belirlemek için daha düşük RMSE ve daha yüksek R^2 değerlerinin gerekli olduğunu bildirmiştir. Logaritmik modeli SHK yöntemi için, Parabolic VK yöntemi için ve Page ve Weibull UAVD yöntemi için diğer modellerden daha yüksek R^2 ve daha düşük RMSE değeri göstermiştir. Page ve Weibull modelleri SHK yöntemi için önemli diğer modellerdir (R^2:0.9990). Batu ve Kadakal (2021), Page (1949) modelinin, tüm kurutma sıcaklıkları (50°C, 60°C ve 70°C) için goji berry meyvelerinin deneysel nem oranını en düşük RMSE ve χ^2 ve en yüksek R^2 (0.9962-0.9979) değerleri ile tahmin eden en iyi model olduğunu belirlemiştir. Numunelerin nem transfer hızlarını karşılaştırmak için k değeri ve kurutma kinetik katsayısı kullanılmıştır ($p<0.05$).

UAVD yöntemi, Newton, Henderson ve Pabis, Parabolic ve Weibull kurutma modelleri için en yüksek k değerini göstermiştir bu yöntemi VK ve SHK yöntemleri takip etmektedir. Bu sonuçlar ayrıca, UAVD yönteminin goji berry örneklerinin kuruma oranını önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir.

Tablo 4.1 Goji berry örneklerinin farklı yöntemlerle kurutulmasında elde edilen verilerin değerlendirilmesi için kullanılan ince tabaka kurutma kinetik modelleri

Model	**Denklem**	**Kaynakça**
Newton	$Y=\exp(-kt)$	Lewis (1921)
Page	$Y=\exp(-kt^n)$	Page (1949)
Henderson ve Pabis	$Y=a\exp(-kt^n)$	Henderson ve Pabis (1962)
Logarithmic	$Y=a\exp(-kt^n)+c$	Yagcioglu, Degirmencioglu ve Cagatay (1999)
Wang and Singh	$Y=1+at+bt^2$	Wang ve Singh (1978)
Two terms	$Y=a\exp(-k_0t)+b\exp(-k_1t)$	Zielinska ve Markowski (2010)
Two terms exponential	$Y=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen vd. (1980)
Parabolic	$Y=a+bt+ct^2$	Sharma ve Prasad (2004)
Weibull	$Y=\exp(-(t/b)^a)$	Corzo vd. (2008)

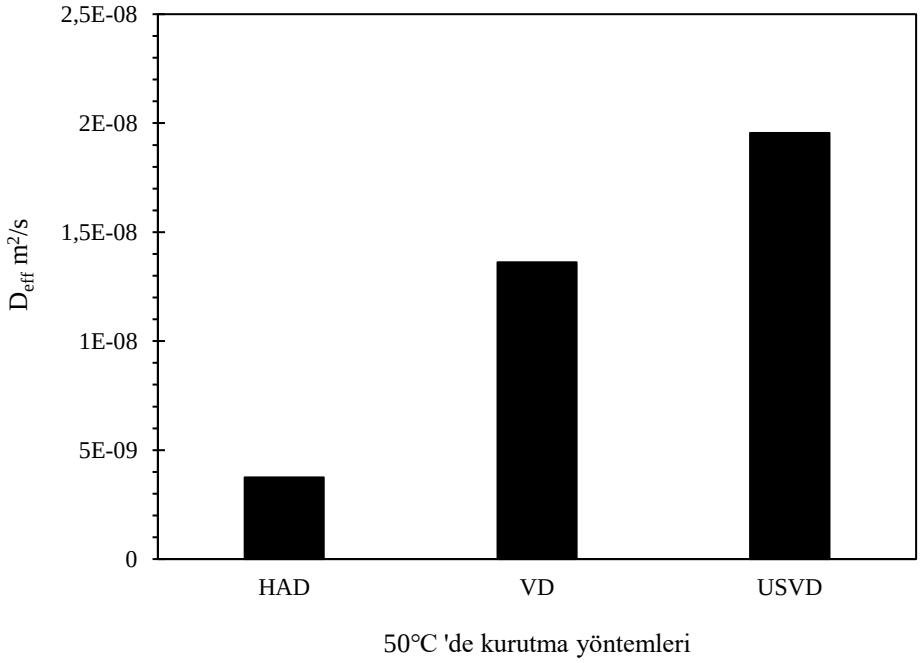
Y: nem oranı, a, b, c ve n kuruma katsayıları ve k, k_0 ve k_1 kuruma sabitleridir

Tablo 4.2 Kurutma model katsayıları ve istatistik değerler

Model	Parametreler	Kurutma yöntemleri		
		SHK[1]	VK	UAVD
Newton	k	0.001656	0.007258	0.007279
	R^2	0.9984	0.9958	0.9883
	RMSE	0.103547	0.098453	0.157556
Page	k	0.001153	0.005766	0.001377
	n	1.055739	1.045136	1.333373
	R^2	0.9990	0.9961	0.9995
	RMSE	0.083415	0.095091	0.031582
Henderson and Pabis	k	0.001671	0.007244	0.007738
	a	1.008327	0.998141	1.061663
	R^2	0.9984	0.9958	0.9914
	RMSE	0.101777	0.098423	0.135938
Logarithmic	k	0.001371	0.006587	0.005038
	a	1.072649	1.024806	1.271190
	c	-0.089219	-0.037601	-0.245337
	R^2	0.9998	0.9963	0.9978
	RMSE	0.032142	0.091639	0.068074
Wang and Singh	b	0.00000	0.000008	0.000008
	a	-0.001317	-0.005578	-0.005537
	R^2	0.9970	0.9953	0.9989
	RMSE	0.140594	0.103632	0.048249
Two-term	a	0.262317	0.125892	0.205145
	k_0	0.001671	0.007244	0.007739
	k_1	0.001671	0.007244	0.007738
	b	0.746007	0.872250	0.856508
	R^2	0.9984	0.9958	0.9913
	RMSE	0.101777	0.098423	0.135938
Two-term exponential	a	0.001825	0.006373	0.001905
	k	0.905164	1.130985	3.799024
	R^2	0.9984	0.9958	0.9881
	RMSE	0.104389	0.09895	0.158857
Parabolic	a	0.9561649	0.955698	1.019876
	b	-0.001190	-0.005142	-0.005788
	c	0.0000000	0.000007	0.000009
	R^2	0.9988	0.9971	0.9992
	RMSE	0.088643	0.082026	0.043587
Weibull	a	1.0557	1.0451	1.3334
	b	606.7118	138.8014	139.8895
	R^2	0.9990	0.9961	0.9995
	RMSE	0.083415	0.095091	0.031582

[1]SHK: sıcak hava kurutma; UAVD: ultrases destekli vakum kurutma; VK: vakum kurutma

D_{eff} değerleri, dehidrasyon etkinliğini gösteren yararlı bir önemli katsayıdır (Chen vd., 2008). Goji berry meyvelerinin SHK, VK ve UAVD yöntemleri ile kurutulması sonucu elde edilen D_{eff} değerleri Şekil 4.2'de verilmiş olup, D_{eff} değerleri sırasıyla $3{,}75x10^{-9}$, $1{,}36x10^{-8}$ ve $1.95x10^{-8}$ m^2/s olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar D_{eff} değerlerinin farklı kurutma yöntemlerine göre farklılık gösterdiğini göstermiş. En yüksek D_{eff} değeri ultrases destekli vakum kurutmadan (UAVD) elde edilmiştir. Batu ve Kadakal (2021) tarafından goji berry meyvelerinin sıcak hava ile 50 °C'de kurutulması sonucunda D_{eff} değeri $1.04x10^{-8}$ m^2/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 Goji berry örneklerinin etkili nem yayılımı (Deff) değerleri (SHK: sıcak hava kurutma; UAVD: ultrases destekli vakum kurutma; VK: vakum kurutma)

4.2 Taze ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Biyoaktif Özellikleri

Taze ve kurutulmuş goji berry örneklerin toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi değerleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Taze örneğin TFM sonucu 772,20 mg GAE/g KM olarak bulunmuştur. Donno vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada 3 farklı goji berry çeşidinin TFM sonucu 255.87-281.91 mg GAE/100 g arasında bulunmuştur.

Kurutulmuş goji berry meyvelerinden en yüksek TFM değeri UAVD yöntemi ile kurutulmuş goji berry örneğine aittir (1238.59 mg GAE/g KM). DK ile kurutulan örneklerin TFM sonucu (1115.03 mg GAE/g KM) UAVD ile kurutulan örneklere yakındır ve onu VK ile kurutulan örneklerin TFM değeri (1060.54 mg GAE/g KM) DK ile kurutulan örnekleri takip etmektedir. Bazı kırmızı meyvelerin aynı yöntemlerle kurutulması üzerine yapılan çalışmalarda dondurularak kurutulmuş numunelerde TFM'nin daha yüksek değerleri olduğu bildirilmiştir (Göztepe vd., 2022, Tekin vd., 2021). TFM değerinin yüksek olmasının nedeni, DK sırasında numunelere düşük sıcaklık ve vakum koşullarının uygulanmasıdır.

Tunus patlıcanının kurutma davranışı ve bazı biyoaktif özellikleri üzerine farklı kurutma tekniklerinin etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada da bizim çalışmamıza benzer şekilde üründe en az bozulmaya ultrason destekli kurutma yöntemi ve dondurarak kurutma yöntemi neden olmuştur (Chouaibi vd., 2021). Ultrason uygulamasının kivi kurutma ürün kalitesi üzerindeki olumlu etkileri başka bir çalışmada da bildirilmiştir (Liu vd., 2019). Tekin vd., (2021), ultrason destekli vakumlu kurutma ile kurutulan ahududu örneklerinin geleneksel kurutma yöntemine göre daha fazla biyoaktif bileşen, daha fazla antioksidan özellik ve daha iyi renk kalitesi gösterdiğini bildirmiştir. UAVD yöntemi ile kurutulan goji berry numunelerinin yüksek TFM değeri, kurutma sırasında hücrelerden salınan bileşiklerin daha kolay ekstrakte edilebilirliğini sağlayan kavitasyon oluşumu ile ilgilidir.

Taze numunelerin antioksidan kapasitesi DPPH ve CUPRAC metotları ile sırasıyla 15,70 mg TE/g KM ve 40,98 mg TE/g KM olarak belirlenmiştir. TFM sonuçlarına benzer şekilde, en yüksek DPPH ve CUPRAC sonuçları UAVD yöntemi ile kurutulan goji berry örneklerinde sırasıyla 28.19 mg TE/g KM ve 226.09 mg TE/g KM olarak bulunmuştur. UAVD yöntemini DPPH sonucunda DK yöntemi (24.82 mg TE/g KM) takip ederken CUPRAC sonucunu VK yöntemi (210.35 mg TE/g KM) takip etmektedir.

Termal işlemler antioksidan kapasitede önemli bir azalmaya neden olmuştur ($p < 0.05$). Termal işlemler ve oksidatif reaksiyonlar, fenolik bileşiklerin bozulmasına neden olmuş ve örneklerin antioksidan aktivitelerini azaltmış olabilir.

Gao vd., (2012) UAVD yöntemi ile kurutulan meyvelerin antioksidan kapasitesi, TFM sonuçlarında olduğu gibi SHK ile kurutulan örneklerden daha yüksektir. Bu sonuçlar UAVD yönteminin SHK yöntemine alternatif bir yöntem olabileceğini göstermektedir. Ayrıca Pearson katsayıları (r) Tablo 4.3'te gösterilmiştir. TFM ile DPPH (1,000) arasındaki korelasyon ile TFM ve CUPRAC (1,000) korelasyon aynı bulunmuştur.

Tablo 4.3 Taze ve kurutulmuş goji berry meyvelerinin biyoaktif özellikleri

Biyoaktif özellikler	Taze	Kuru Goji Berry					*r*	
		DK	UDK	VK	UAVD	SHK	DPPH	CUPRAC
TFM[1]	772.20±9.31^{e}	1115.03±16.82^{b}	1006.78±5.17^{d}	1060.54±11.68^{c}	1238.59±66.19^{a}	1002.54±0.00^{d}		
DPPH[2]	15.70±0.32^{d}	24.82±1.33^{bc}	23.26±0.68^{c}	24.97±1.77^{bc}	28.19±3.71^{ab}	29.90±2.04^{a}	1	
CUPRAC[3]	40.98±5.28^{d}	203.39±4.97^{b}	152.98±4.46^{c}	210.35±10.66^{ab}	226.09±10.00^{a}	206.35±16.91^{b}		1

DK: dondurarak kurutma; UDK: ultrases destekli dondurarak kurutma; SHK: sıcak hava kurutma; VK: vakum kurutma; UAVD: ultrases destekli vakum kurutma

Aynı satırdaki farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan numuneler arasındaki farklılıkları gösterir ($P < 0.05$).

[1] TFM: mg GAE/g KM

[2] DPPH: mg TE/g KM

[3] CUPRAC: mg TE/g KM

4.3 Taze Ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Fenolik Bileşenleri

Tablo 4.4, farklı kurutma yöntemlerinin fenolik bileşikler üzerindeki etkisini göstermiştir. Taze goji berry örneklerinde protokateşik asit (1.421 mg/g KM) ve kateşin (1.029 mg/g KM) en çok bulunan fenolik bileşenler olarak belirlenmiştir. Russo vd., (2020) tarafından yapılan çalışmada İtalyan goji berry meyvelerinde sekiz fenolik bileşik (ferulik, kafeik, klorojenik ve p-kumarik asitler, kateşin, rutin, kersetin ve kaempferol) analiz edilmiş ve bunlardan flavonoid sınıfına ait fenolik bileşen olan kateşinler temel fenolik bileşen olarak tespit edilmiştir (3,791 mg/g). Donno vd., (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kateşinler, polifenol oksidaz enzimi, asit ve ısı ile oksidasyona duyarlı oldukları için tüm kurutulmuş örneklerde azalmıştır (Tablo 4.4).

Gallik asit, test edilen standartlar arasında kuru goji berry örneklerinde ana fenolik bileşik olarak tanımlandı ve bunu örneklere göre farklılık göstermekle birlikte protokateşik asit, rutin, kateşin ve klorojenik asit izledi. SHK yöntemi, tanımlanan tüm fenolik bileşiklerin miktarında azalmaya neden olmuştur. SHK gallk asit miktarında azalmaya neden olurken diğer tüm kuruta yöntemleri ciddi bir şekilde artışa neden olmuştur. Kurutulmuş örnekler incelendiğinde; DK ile kurutulan örneklerde gallik asit, mirsetin ve kuersetin, VK ile kurutulan örneklerde protokateşik asit ve kafeik asit, UDK ile mirsetin ve kuersetin en yüksek iken UAVD ile kurutulan örneklerde kateşin, klorojenik asit, 4-hidroksibenzoik asit, elagik asit, p-kumarik ve ferulik asit en yüksek değerlere sahiptir. Sonuç olarak, farklı kurutma yöntemlerinin fenolik bileşen dağılımı üzerindeki etkisi, toplam fenolik bileşikler ve antioksidan aktivite sonuçları ile uyumludur. SHK önemli bir düşüşe neden olurken, DK genel olarak yüksek sonuçlar gösterdi. UAVD yöntemi genel olarak en yüksek fenolik bileşen miktarını göstermiştir.

Tablo 4.4 Taze ve kurutulmuş goji berry meyvelerinin fenolik bileşenleri (mg/g KM)

	taze	**DK**	**UDK**	**VK**	**UAVD**	**SHK**
gallic acid	0.160	3.416	2.811	2.225	2.860	0.142
protocatechuic acid	1.421	1.292	1.253	1.781	1.753	0.592
catechin	1.029	0.341	0.397	0.302	0.431	0.234
chlorogenic acid	0.314	0.151	0.154	0.126	0.177	0.031
4-hydroxybenzoic acid	0.150	0.056	0.149	0.128	0.153	0.007
syringic acid	0.010	0.004	0.012	0.013	0.019	n.d.
ellagic acid	0.181	0.099	0.122	0.106	0.127	n.d.
caffeic acid	0.043	0.051	0.045	0.061	0.051	0.050
p-coumaric acid	0.211	0.082	0.076	0.080	0.084	0.013
ferulic acid	0.021	0.014	0.014	0.015	0.016	0.015
myricetin	0.106	0.108	0.108	0.105	0.106	n.d.
quercetin	0.050	0.051	0.051	0.050	0.050	n.d.
kaempferol	0.020	0.019	0.019	0.019	0.019	n.d.

DK: dondurarak kurutma; UDK: ultrases destekli dondurarak kurutma; SHK: sıcak hava kurutma; VK: vakum kurutma; UAVD: ultrases destekli vakum kurutma

4.4 Taze Ve Kurutulmuş Goji Berry Meyvelerinin Renk Parametreleri

Renk, tüketicinin nihai ürünü kabul etmesi için kurutulmuş ürünler için kritik kalite parametresidir. Örneklerin renk değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Taze örneklerin L*, a*, b* ve C değerleri 42.90, 29.7, 23.35 ve 37.83 iken kurutulmuş örneklerin L* değerleri 29.83-41.89, a* değerleri 17.52-31.95, b* değerleri 6.86-21.81 ve C değerleri 18.81-37-51 arasında değişmektedir. Tablo 4.5'ten de görüleceği üzere numunelerin L* değerlerinde önemli bir değişim gözlemlenmiştir. Özellikle SHK yöntemi ile kurutulan örneklerin L* değerinde önemli bir azalma olduğu hem Tablo 4.5'te hem de Şekil 4.3'de görülmektedir. Numunelerin L* değerindeki düşüş, enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile açıklanabilir. SHK ile kurutulan numunelerin L* değerindeki dramatik düşüş, uzun kurutma periyodu sırasında meydana gelen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile açıklanabilir (Chen vd., 2020). UAVD'nin düşük kuruma süresi, daha az enzimatik olmayan reaksiyon oluşumu ile sonuçlanmış olabilir ve numunenin gözenek yapısının korunması, daha fazla yansıma ve dolayısıyla numunenin L* değerinde daha az düşüş ile sonuçlanmış olabilir. Ayrıca USVD işleminin vakum altında yapılması enzimatik kararma reaksiyonlarını önlemiş olabilir. DK ile kurutulan numuneler, düşük sıcaklıklarda vakum altında kurudukları için enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonları sınırlanmıştır. Bu, DK ile kurutulan numunelerde L* değerindeki daha az düşüşü açıklamaktadır. UAVD, VD, DK ve UDK yöntemleri ile kurutulan örneklerin a* değerinde taze örnek ile kıyaslandığında önemsiz bir değişiklik meydana gelmiş olabilir. SHK yöntemi ile kurutulan örnkeklerin a*, b* ve C değerlerinde önemli bir düşüş meydana gelmiştir. Ozay vd., (2021) tarafından yapılan çalışmada, nar örnekleri SHK, VK, UAVD ve DK yöntemleri ile 50 °C'de kurutulmuş ve L* değerindeki en yüksek düşüşler SHK yöntemi ile kurutulan örneklerde meydana gelmiştir. Goji berry ve nar gibi kırmızı bir meyve olan kuşburnunun farklı yöntemlerle (SHK, VK, UAVD ve DK) kurutulmasının renk parametrelerine etkisi Göztepe vd., (2022) tarafından çalışılmış ve SHK yöntemi ile kurutulan örnek en düşük L* değerine sahipken DK yöntemi ile kurutulan örnek taze örneklerden de daha yüksek L* değerine sahip

olduğu bulunmuştur. ΔE değeri, kurutulmuş örneklerde toplam renk değişimini gösteren önemli bir parametredir. Kurutulmuş goji berry örnekleri için en yüksek ΔE değeri SHK yöntemi (23.93) için, en düşük ΔE değeri DK (4.50) için bulundu. Bu düşük renk değişiminin nedeni, düşük sıcaklıklarda vakum işlemi nedeniyle olabilir. ΔE değerinin sonuçları örneklerin görüntüleri ile uyumluydu.



Şekil 4.3 Taze ve farklı yöntemlerle kurutulmuş goji berry meyveleri görseli (A: taze, B: DK, C: UDK, D: VK, E: UAVD, F: SHK)

Tablo 4.5 Taze ve kurutulmuş goji berry meyvelerinin renk parametreleri

Renk parametreleri	Taze	Kuru Goji Berry				
		SHK	**VK**	**UAVD**	**DK**	**UDK**
L^*	42.90±3.08a	29.83±1.71c	36.50±0.94b	39.51±0.22a	40.74±2.24a	41.06±1.06a
a^*	29.77±0.94a	17.52±1.67b	29.52±2.59a	27.65±1.93a	31.95±1.73a	28.41±1.71a
b^*	23.35±1.54a	6.86±1.15c	21.81±0.81ab	19.66±1.75b	19.56±0.69b	18.39±1.92b
ΔE	-	23.93	5.80	4.97	4.50	5.24
C	37.83a	18.81c	36.70a	33.93	37.51a	33.85b

DK: dondurarak kurutma; UDK: ultrases destekli dondurarak kurutma; SHK: sıcak hava kurutma; VK: vakum kurutma; UAVD: ultrases destekli vakum kurutma

Aynı satırdaki farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan numuneler arasındaki farklılıkları gösterir ($P<0.05$).

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Meyve ve sebzelerin sadece yılın belirli dönemlerinde hasat edilmesi, onlara her mevsim ulaşabilmeyi zorlaştırmaktadır. Ürünlerin dört mevsim kullanılabilmesi için çeşitli muhafaza teknikleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada, sıcak hava kurutmaya alternatif metodlar araştırılmıştır.

Farklı yöntemlerle kurutulan kuşburnu örneklerinde kuruma süresinin en kısa olduğu yöntem, ultrases destekli vakum kurutmadır. Bunu, vakum kurutma, sıcak hava kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri takip eder. Kurutma süresinin kısa olması zamandan ve maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Buna göre, en verimli uygulama ultrases destekli vakum kurutma olacaktır.

Goji berry meyvesinin kuruma davranışını tanımlamak için dokuz farklı model uygulanmıştır. Logaritmik modeli SHK yöntemi için, Parabolic VK yöntemi için ve Page ve Weibull UAVD yöntemi için diğer modellerden daha yüksek R^2 ve daha düşük RMSE değeri göstermiştir. Ultrases destekli vakum kurutma uygulamasının kuşburnunun kuruma oranını önemli ölçüde artırabileceği görülmektedir.

Taze goji berry örneklerinde toplam fenolik içeriğini en çok koruyan yöntem , ultrases destekli vakum kurutma olarak bulunmuştur. Bu yöntemi dondurarak kurutma, vakum kurutma, ve sıcak hava kurutma takip etmektedir. Sıcak hava kurutmada yüksek sıcaklık ve oksidatif reaksiyonlar fenolik bileşen kaybına yol açmıştır.

Tüm parametreler değerlendirildiğinde, goji berry meyvesini kurutmak için en iyi alternatif muhafaza yöntemin dondurarak kurutma; en verimsiz yöntemin ise sıcak hava kurutma olduğu belirlenmiştir. Ultrases ön işlemi ile kurutulmuş goji berry meyvesi örneklerinde, mumsu tabaka ve düşük nem içeriğine bağlı olarak vakum ve dondurarak kurutmaya göre biyoaktif bileşenlerin daha az korunduğu görülmüştür. Fakat ultrases destekli vakum kurutma, sıcak hava ile kurutmaya göre daha fazla biyoaktif bileşen tutması ve düşük kuruma süresine sahip olması ile sıcak hava

kurutma yerine kullanılabilecek alternatif bir yöntemdir. Dondurarak kurutma işleminin uzun kuruma süresi ve yüksek maliyetlere sahip olması, goji berry meyvesinin vakum kurutma yöntemi ile de biyoaktif bileşenlerini koruyarak verimli bir şekilde kurutulabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

Ağagündüz, D., Köseler-Beyaz, E., & Duman, S. (2021). Assessment of the Physicochemical and Antioxidant Profile of Dried Goji Berries (Lycium barbarum). *Progress in Nutrition*, *23*(4). https://doi.org/10.23751/pn.v23i4.11321

Aktaş, C., "Patlıcanın Kurutma Ve Rehidrasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.

Amagase, H., & Farnsworth, N. R. (2011). A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of Lycium barbarum fruit (Goji). *Food Research International*, *44*(7), 1702–1717. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.027

Arévalo-Pinedo, A., & Murr, F. E. X. (2006). Kinetics of vacuum drying of pumpkin (Cucurbita maxima): Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering*, *76*(4), 562–567. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.003

Avramidis, S. (2018). *Drying Characteristics of Thick Lumber in a Laboratory Radio-Frequeocy / Vacuum Dryer*. *December 1994*. https://doi.org/10.1080/07373939408962215

Badwaik, L. S., Choudhury, S., Borah, P. K., Sit, N., & Deka, S. C. (2014). Comparison of kinetics and other related properties of bamboo shoot drying pretreated with osmotic dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(3), 1171–1180. https://doi.org/10.1111/jfpp.12077

Batu, H. S., & Kadakal, Ç. (2021). Drying characteristics and degradation kinetics in some parameters of goji berry (Lycium Barbarum L.) fruit during hot air drying. Italian Journal of Food Science, 33(1), 16-28.

Başlar, M., "Ultrases, Fotosonikasyon Ve Vurgulu Elektriksel Alan İşlemlerinin Elma Suyunun Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 2011

Başlar, M., Kiliçli, M., Toker, O. S., Saıdiç, O., & Arici, M. (2014). Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *26*, 182–190. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.008

Başlar, M., Toker, Ö.S., Karasu, S., Tekin, H.Z. ve Yildirim, B.H., "Ultrasonic Applications for Food Dehydration", içinde Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry, 1. baskı, M. Ashokkumar, Ed. Singapore: Springer Singapore, 2016, ss. 1–20.

Baysal, T., Ersus, S., & Starmans, D. A. J. (2000). Supercritical CO2 extraction of β-carotene and lycopene from tomato paste waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(11), 5507–5511. https://doi.org/10.1021/jf000311t

Bingöl, G., Devres, Y.O., "Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri", IV. İstanbul Sanayi Odası- İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi, ss. 31-49, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul, 2010.

Britton, G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal*, *9*(15), 1551–1558.

Brown, M., (1999). "Focusing on Freeze-Drying", Food Manufacture, September, 74(9): 34–36.

Butz, P., & Tauscher, B. (2002). *Emerging technologies : chemical aspects*. *35*, 279–284.

Cakmak Tekin H.Z., Cakmakoglu Kayacan S., Avcı E., Sagdic O., and Karasu, S., "Ultrasound-assisted vacuum drying as alternative drying method to increase drying rate and bioactive compounds retention of raspberry," Journal of Food Processing and Preservation, vol. 45, no. 12, p. e16044, 2021, doi: https://doi.org/10.1111/jfpp.16044.

Cánovas-Barbosa, V.G. and Vega-Mercado, H., Dehydration of Foods. London: International Thomson Publishing, 1996.

Celik, O. F., Demirkol, M., Durmus, Y., & Tarakci, Z. (2020). Effects of drying method on the phenolics content and antioxidant activities of cherry laurel (Prunus laurocerasus L.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(1), 48–54. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00266-6

Cemeroğlu, B., "Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi," Gıda Teknoloji Dergisi Yayınları, no. 6, pp. 479-480, 1986.

Chen, Y., Li, M., Dharmasiri, T. S. K., Song, X., Liu, F., & Wang, X. (2020). Novel ultrasonic-assisted vacuum drying technique for dehydrating garlic slices and predicting the quality properties by low field nuclear magnetic resonance. *Food Chemistry*, *306*, 125625. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125625

Chen, X. ve Mujumdar, A., (2008). "In Drying Technologies in Food Processing" (Oxford: Blackwell Pub), 225-232.

Cheng, C. Y., Chung, W. Y., Szeto, Y. T., & Benzie, I. F. F. (2005). Fasting plasma zeaxanthin response to Fructus barbarum L. (wolfberry; Kei Tze) in a food-based human supplementation trial . *British Journal of Nutrition*, *93*(1), 123–130. https://doi.org/10.1079/bjn20041284

Chouaibi, M., Snoussi, A., Attouchi, S., & Ferrari, G. (2021). Influence of drying processes on bioactive compounds profiles, hydroxymethylfurfural, color parameters, and antioxidant activities of Tunisian eggplant (Solanum melongena L.). Journal of Food Processing and Preservation, 45(6), e15460.

Cohen, J. S., & Yang, T. C. S. (1995). Progress in food dehydration. *Trends in Food Science and Technology*, *6*(1), 20–25. https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)88913-X

Corzo O, Bracho N, Pereira A. & Vásquez A (2008). Weibull distribution for modelling air drying of coroba slices. *LWT - Food Science and Technology 41: 2023-2028*

Cui, C., Zhao, D., Huang, J., & Hao, J. (2022). Progress on research and development of goji berry drying: a review. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 435–449. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2046054

Cumhur, Ö., Şeker, M., & Sadıkoğlu, H. (2016). Freeze drying of turkey breast meat: Mathematical modeling and estimation of transport parameters. *Drying Technology*, *34*(5), 584–594. https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1064945

Çelen, S. (2010). Mikrodalga Ve VAKUM KURUTUCUDA BAZI GIDA Ürünlerinin KURUTULMASI VE Modellenmesi. Trakya Üniversitesi.

Demiray, E., Seker, A., & Tulek, Y. (2017). Drying kinetics of onion (Allium cepa L.) slices with convective and microwave drying. Heat and Mass Transfer, 53(5), 1817-1827.

Demirtas, C., Ayhan T., ve Kaygusuz K., "Drying behaviour of hazelnuts," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 76, no. 4, pp. 559-564, 1998.

Dermesonlouoglou, E., Chalkia, A., & Taoukis, P. (2018). Application of osmotic dehydration to improve the quality of dried goji berry. *Journal of Food Engineering*, *232*, 36–43. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.012

Donno, D., Cerutti, A. K., Prgomet, I., Mellano, M. G., & Beccaro, G. L. (2015). Foodomics for mulberry fruit (Morus spp.): Analytical fingerprint as antioxidants' and health properties' determination tool. *Food Research International*, *69*, 179–188. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.020

Donno, D., Beccaro, G. L., Mellano, M. G., Cerutti, A. K., & Bounous, G. (2015). Goji berry fruit (Lycium spp.): Antioxidant compound fingerprint and bioactivity evaluation. Journal of functional foods, 18, 1070-1085.

Earnshaw, R. G. (1995). *Understanding physical inactivation processes : combined preservation opportunities using heat , ultrasound and pressure*. *28*(1386), 197–219.

Ekechukwu, O. V, & Norton, B. (1999). 99/02111 Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Fuel and Energy Abstracts*, *40*(3), 216. https://doi.org/10.1016/s0140-6701(99)97881-5

Erbay, B., & Küçüköner, E. (2008). *Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri Buket* (Issue 4).

Ercan, S. Ş. (2013). *Use of ultrasound in food preservation*. *5*(8), 5–13.

Ertekin, C., & Yaldız, O. (2010). Thin Layer Drying of Sliced Squash by Forced Convection. *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*, 1–10.

Fratianni, A., Niro, S., Alam, M. D. R., Cinquanta, L., Di Matteo, M., Adiletta, G., & Panfili, G. (2018). Effect of a physical pre-treatment and drying on carotenoids of goji berries (Lycium barbarum L.). *LWT - Food Science and Technology*, *92*, 318–323. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.048

Fuente-blanco, S. De, & Sarabia, E. R. De. (2006). *Food drying process by power ultrasound*. *44*, 523–527. https://doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.181

Geankoplis, J.C., Transport Processes and Separation Process Principles, 2011.

Galanakis, M.C., Nutraceutical and Functional Food Components-Effects of Innovative Processing Techniques. London: Academic Press, 2017.De Oliveira, F. L., Arruda, T. Y. P., Da Silva Lima, R., Casarotti, S. N., & Morzelle, M. C. (2020). Pomegranate as a natural source of phenolic antioxidants. *Journal of Food Bioactives*, *9*, 10–22. https://doi.org/10.31665/jfb.2020.9214

Gao, Q. H., Wu, C. Sen, Wang, M., Xu, B. N., & Du, L. J. (2012). Effect of drying of jujubes (Ziziphus jujuba Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α-tocopherol, β-carotene, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(38), 9642–9648. https://doi.org/10.1021/jf3026524

Goula, A. M., Kokolaki, M., & Daftsiou, E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing*. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.008

Goztepe, B., Kayacan, S., Bozkurt, F., Tomas, M., Sagdic, O., & Karasu, S. (2022). Drying kinetics , total bioactive compounds , antioxidant activity , phenolic profile , lycopene and β -carotene content and color quality of Rosehip dehydrated by different methods. *LWT*, *153*(May 2021), 112476. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112476

Hart, D. J., & Scott, K. J. (1995). Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry*, *54*(1), 101–111. https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)92669-B.

Henderson, S.M., & Pabis, S. (1962). Grain drying theory IV: The effect of airflowrate on drying index. *Journal of Agricultural Research Engineering, 7, 85-89.*

Hu, Y., Tian, J., Zou, J., Yuan, X., Li, J., Liang, H., Zhan, F., & Li, B. (2019). Partial removal of acetyl groups in konjac glucomannan significantly improved the rheological properties and texture of konjac glucomannan and κ-carrageenan blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, *123*, 1165–1171. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.190

Huang, L. lue, Zhang, M., Yan, W. qiang, Mujumdar, A. S., & Sun, D. feng. (2009). Effect of coating on post-drying of freeze-dried strawberry pieces. *Journal of Food Engineering*, *92*(1), 107–111. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.031

Karaaslan, M., Yilmaz, F. M., Cesur, Ö., Vardin, H., Ikinci, A., & Dalgiç, A. C. (2014). Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and anthocyanins in pomegranate arils dried under vacuum conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, *49*(2), 595–605. https://doi.org/10.1111/ijfs.12342

Kırmacı, V, "Dondurarak kurutma sisteminin tasarımı, imalati ve performans deneylerinin yapılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2008.

Krishnan R., K., Rayaguru, K., & Nayak K., P. (2020). Ultra-sonicated vacuum drying's effect on antioxidant activity, TPC, TFC and color of elephant apple slices. *Food Bioscience*, *36*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100629

Krokida, M. K., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (1998). Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. *Journal of Food Engineering*, *35*(4), 369–380. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00031-4

Kulczyński, B., & Gramza-Michałowska, A. (2016). Goji Berry (Lycium barbarum): Composition and Health Effects - A Review. In *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* (Vol. 66, Issue 2, pp. 67–75). https://doi.org/10.1515/pjfns-2015-0040

Lee, M. T., & Chen, B. H. (2002). Stability of lycopene during heating and illumination in a model system. *Food Chemistry*, *78*(4), 425–432. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00146-2

Lewis, W.K., (1921). The Rate of Drying of Solid Materials. Journal of Industrial & Engineering Chemistry, 13(5), 427–432.

Li, Y., Wang, X., Wu, Z., Wan, N., & Yang, M. (2020). Dehydration of hawthorn fruit juices using ultrasound-assisted vacuum drying. Ultrasonics sonochemistry, 68, 105219.

Liu, Y., Zeng, Y., Guo, L., & Sun, X. (2019). Drying process and quality characteristics of contact ultrasound reinforced heat pump drying on kiwifruit slices. Journal of Food Processing and Preservation, 43(10), e14162.

Menon, A., Stojceska, V., & Tassou, S. A. (2020). A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. *Trends in Food Science and Technology*, *100*, 67–76. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.014

Mulet, A., Cárcel, J., Sanjuán, N. ve Bon, J., (2003). "New Food Drying Technologies - Use of Ultrasound", Food Science and Technology International, 215-221

Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, *262*, 242–250. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047

Niro, S., Fratianni, A., Panfili, G., Falasca, L., & Cinquanta, L. (2017). Nutritional Evaluation of Fresh. *Italian Journal of Food Science*, *29*(July), 398–408.

Nizamlıoğlu, N. M., & Nas, S. (2010). Meyve ve Sebzelerde Bulunan Fenolik Bileşikler ; Yapıları ve Önemleri. *Elektronik*, *2010*(1), 20–35.

Oliver, J., & Palou, A. (2000). Chromatographic determination of carotenoids in foods. *Journal of Chromatography A*, *881*(1–2), 543–555. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00329-0

O., Arancioglu, I., Bekiroglu, H., Karadag, A., Saroglu, O., Tekin-Çakmak, Z. H., & Karasu, S. (2021). Effect of different drying methods on the bioactive, microstructural, and in-vitro bioaccessibility of bioactive compounds of the pomegranate arils. Food Science and Technology, 42.

Page, G.E., (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, MSc. Thesis, Master Thesis, Purdue University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, Indiana.

Patel, S. R., & Murthy, Z. V. P. (2009). *Ultrasound assisted crystallization for the recovery of lactose in an anti-solvent acetone*. *896*(8), 889–896. https://doi.org/10.1002/crat.200900227

Potterat, O. (2010). Goji (Lycium barbarum and L. chinense): Phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses and recent popularity. *Planta Medica*, *76*(1), 7–19. https://doi.org/10.1055/s-0029-1186218

Puig, A., Perez-munuera, I., Carcel, J. A., Hernando, I., & Garcia-perez, J. V. (2012). Food and Bioproducts Processing Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (Solanum melongena L .) during conventional and ultrasonically assisted convective drying. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(4), 624–632. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.07.001

Raghavan, G. S. V., Rennie, T. J., Sunjka, P. S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W., & Terdtoon, P. (2005). Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *22*(2), 195–201. https://doi.org/10.1590/S0104-66322005000200005

Rahman, S.M., Handbook of Food Preservation, 2. baskı. New York: CRC Press, 2007.

Randhir, R., Lin, Y. T., & Shetty, K. (2004). Stimulation of phenolics, antioxidant and antimicrobial activities in dark germinated mung bean sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Process Biochemistry*, *39*(5), 637–646. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00197-3

Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, *49*(4), 311–319. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4

Reis, F. R. (2014). Vacuum drying for extending food shelf-life. Brazil, Springer

Ricce, C., Lindsay, M., Claudio, A., Siche, R., Esteves, P., & Augusto, D. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *FRIN*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030

Rodríguez, M. M., Rodriguez, A., & Mascheroni, R. H. (2015). Color, Texture, Rehydration Ability and Phenolic Compounds of Plums Partially Osmodehydrated and Finish-Dried by Hot Air. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*(6), 2647–2662. https://doi.org/10.1111/jfpp.12515

Russo, P., Adiletta, G., Di Matteo, M., Senadeera, W., & Cinquanta, L. (2020). The effect of abrasive pretreatment on the drying kinetics and phenolic compounds in goji berries (Lycium barbarum L.). Journal of Food Processing and Preservation, 44(12), e14933.

Şahin H., F. (2010). DOMATES KURUTMADA FARKLI YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI. Namık Kemal Üniversitesi.

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. Journal of Functional Foods, 18, 820–897. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018

Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y., 1980, A model for ear corn drying, Trans. *ASAE, 23, 1261–1271.*

Sharma G P & Prasad S (2004). Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering 65: 609-617*

Singh, D. B. ve Ambrose, K. (2008). Effect of convective drying on quality of anardana. Indian Journal of Horticulture, 65(4), 413-416.

Singh, R.P., Chidambara-Murthy, K.N. & Jayaprakasha, G.K. (2002). Studies on the Antioxidant Activity of Pomegranate (Punica granatum) Peel and Seed Extracts Using in Vitro Models. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 81-86.

Skenderidis, P., Lampakis, D., Giavasis, I., Leontopoulos, S., Petrotos, K., Hadjichristodoulou, C., & Tsakalof, A. (2019). Chemical properties, fatty-acid composition, and antioxidant activity of Goji berry (Lycium barbarum l. and Lycium Chinense mill.) fruits. *Antioxidants*, *8*(3). https://doi.org/10.3390/antiox8030060

Süfer, Ö., & Palazoğlu, T. K. (2019). Microwave–vacuum drying of pomegranate arils (Punica granatum L. cv. Hicaznar): Effect on quality and nutrient content. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(9), 1–12. https://doi.org/10.1111/jfpp.14085

Sun, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. (2019). Berry Drying: Mechanism, Pretreatment, Drying Technology, Nutrient Preservation, and Mathematical Models. *Food Engineering Reviews*, *11*(2), 61–77. https://doi.org/10.1007/s12393-019-9188-3

Tao, Y., & Sun, D.-W. (2015). *Enhancement of Food Processes by Ultrasound : A Review*. *55*(4), 570–594. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.667849

Tekin, H., Biberlerin Kurutulmasinda Kalite Özelliklerinin Iyileştirilmesi Amaciyla Ultrason Destekli Vakum Kurutma Yönteminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015

Tekin, Z. H., & Baslar, M. (2018). The effect of ultrasound-assisted vacuum drying on the drying rate and quality of red peppers. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 132(2), 1131-1143.

Tekin, Z. H., Başlar, M., Karasu, S., & Kilicli, M. (2017). Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: Drying kinetics and quality parameters. Journal of Food Processing and Preservation, 41(6), e13227.

Tüfekçi, S., "Ultrases Ön İşleminin Bamya Ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2014

Toğrul, H., Toğrul, İ., İspir, A., ''İnfrared Kurutucuda Muzun Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi'', III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya, 22-29 (2005b)

Umeno, D., & Arnold, F. H. (2003). A C35 carotenoid biosynthetic pathway. *Applied and Environmental Microbiology*, *69*(6), 3573–3579. https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3573-3579.2003

Vidovic, B. B., Milincic, D. D., Kostic, A. Ž., Pešic, M. B., Marcetic, M. D., Djuriš, J. D., & Ilic, T. D. (2022). Health Benefits and Applications of Goji Berries in Functional Food Products Development : A Review. *Antioxidants*, *11*(248), 1–29.

Von Elbe, J.H, Schwartz, S.J., Colorants in "Food Chem", 10: 651–722, (1996).

Wang, C. C., Chang, S. C., Inbaraj, B. S., & Chen, B. H. (2010). Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from Lycium barbarum L. and evaluation of antioxidant activity. *Food Chemistry*, *120*(1), 184–192. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.005

Wang, C.Y., & Singh, R.P., (1978). Single layer drying equation for rough rice. *ASAE Pap. No. 78-3001, 33.*

Wang, R., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Jiang, H. (2011). Effect of salt and sucrose content on dielectric properties and microwave freeze drying behavior of re-structured potato slices. *Journal of Food Engineering*, *106*(4), 290–297. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.015

Wojdylo, A., Figiel, A., Legua, P., Lech, K., Barrachina A., A., & Hernandez, F. (2016). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. *Food Chemistry*.

Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A. and Cagatay, F. (1999) Drying Characteristics of Laurel Leaves under Different Conditions. *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Adana, 26-27 May 1999, 565-569.*

Yuksel, F. (2018). Gıda Teknolojisinde Ultrases Uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *8*(November), 29–38.

Yongsowatdıgul, J., (1995). "Microwave- Vacuum Crying of Cranberries: Part2", Quality Evaluation.

Zambak, .Ö., "Ultrases Önişleminin Sığır Bonfile Ve Tavuk Göğüs Etlerinin Kurutma Davranışları Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2015.

Zielinska M & Markowski M (2010). Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. *Chemical Engineering and Processing 49: 212-218*

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

[1] B. Turan, Z.H. Tekin Çakmak, S. Kayacan Çakmakoğlu, S. Karasu, " Effect of Different Drying Techniques On the Bioactive Properties and Phenolic Composition of Goji Berry Fruit," IV- International Conference of Food, Agricultural And Veterinary Sciences, 2022, pp. 444-445.